



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**DOCUMENTAR LAS RELACIONES HÍDRICAS Y REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA PITAYA AMARILLA, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, DURANTE DISTINTAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO EN TRES LOCALIDADES DEL VALLE DEL CAUCA**

**Jorge Alberto Medina Salazar**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela de Posgrados  
Palmira, Colombia

2015



**DOCUMENTAR LAS RELACIONES HÍDRICAS Y REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA PITAYA AMARILLA, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, DURANTE DISTINTAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO EN TRES LOCALIDADES DEL VALLE DEL CAUCA**

**Jorge Alberto Medina Salazar**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Master en Ciencias Biológicas**

Director:

Ph.D. Harold Tafur Herman

Codirector (a):

Ph.D. Alexander Rebolledo Roa

Línea de Investigación:

Recursos fitogenéticos neotropicales

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela de posgrados  
Palmira, Colombia

2015



Dedico:

A Dios, la luz, por lo todo que nos da.

A mi esposa, la que me ha acompañado y alegrado gran parte de mi vida, en las buenas y en las malas, ella fue quien me alentó para abordar esta etapa de mi vida, la de volver a ser estudiante después de muchos años, volver a las aulas de clase, a exponer trabajos, a presentar exámenes, a todo estos trajines duros pero agradables propios de la Universidad.

A mis hijas, Andrea Marcela y Gabriela, quienes también me apoyaron y creo me entendieron en los momentos críticos, pero son la esencia de mi vida.

A mi Padre (q.e.p.d), a mi Madre, a mis hermanas y hermanos, de quienes siempre he tenido el apoyo y siempre han estado allí cuando en verdad se necesita.

A todos aquellos que trabajan en el campo, a los mayordomos, administradores de cultivos, productores, técnicos, profesionales y muchos otros que por algo más de dos décadas me han enseñado, me siguen enseñando y que gracias a ellos he podido entender a esta asombrosa planta, la pitaya amarilla.

A mis profesores de pre y posgrado, a mis condiscípulos, porque de todos he aprendido.

## Agradecimientos

Alexander Rebolledo Roa por darme la oportunidad de trabajar en esta tesis.

Harold Tafur H, por el apoyo con que he tenido desde el inicio de esta maestría.

A Daniel Ángel García, Harold Rodríguez, Gonzaga Valenzuela y Adelmo Lozano empleados de Corpoica que me colaboraron de todas las formas que les fue posible soportando las inclemencias climáticas para poder hacer los montajes y lecturas necesarias para este trabajo.

A los pasantes y compañeros de trabajo en Corpoica de los cuales también sentí su constante apoyo durante este trabajo, Leonardo Álvarez, Anabel Mora, María Fernanda Arroyabe y muy especialmente a Mauricio Martínez, Nubia Murcia y Demian Takumasa Kondo R.

A los Doctores Julio Cesar Toro M. y Juan Jaramillo V. por su amistad, soporte, sus constantes y valiosos aportes en lo profesional y en lo relacionado con este trabajo.

A Cesar Augusto Londoño y Nora Ruíz, propietarios de la finca “La Cabaña” en Restrepo, en donde tuvimos toda la colaboración posible y siempre fuimos muy bien atendidos. Muy especialmente a John Jairo Arroyave, por su colaboración y aportes en este trabajo.

A don Jorge Restrepo y su familia, en la finca “El Jardín” en el municipio de Riofrío, vereda La Judea, por su incondicional colaboración y buena atención.

Al doctor Gerardo Andrés Torres, de la Universidad del Cauca, por su dedicado e incondicional trabajo en el laboratorio de microscopía para el montaje, lecturas e interpretación de las improntas necesarias para ver los estomas.

A Efrén Muñoz, condiscípulo en la maestría, por su colaboración incondicional en lo que respecta al laboratorio de microscopía.

Marzory Andrade y al profesor Diosdado Baena, por el apoyo y colaboración en temas estadísticos

## Resumen

Existen pocos estudios sobre el comportamiento fenológico de la pitaya amarilla y sus respuestas a diferentes condiciones edáficas y climáticas. Dentro de lo que se conoce la duración de los distintos estados fenológicos están influenciados por la altitud, siendo más cortos a 1.000 msnm y más largos a 1.600 msnm. Posiblemente debido a su evolución en la piedemonte andino-amazónico la planta en el desarrollo vegetativo y reproductivo responde a las variables climáticas principalmente precipitación y brillo solar, además, por ser un cactus hemiepífito esta planta requiere de un adecuado suministro de agua para un desarrollo óptimo. Buscando abordar esta temática durante los años 2009 y 2010 se desarrolló el presente estudio utilizando el cultivar de pitaya amarilla en tres diferentes localidades del departamento Valle del Cauca, Colombia (Palmira, Restrepo y Riofrío). Dentro de la información documentada se logró establecer que el régimen de humedad del suelo asociado a la precipitación de las zonas de estudio, las variables desarrollo vegetativo, floración y llenado de fruto están altamente relacionadas con el régimen de humedad del suelo definida por las precipitaciones locales. El propósito fundamental del estudio fue el de documentar el comportamiento productivo de la pitaya amarilla durante varias etapas fenológicas y asociarlo al régimen hídrico del suelo, junto con las requerimientos nutricionales presentes en él. Aunque los análisis de suelos presentaron valores bajos de algunos elementos, los análisis foliares de las plantas de pitaya amarilla, al compararlos con los valores adecuados para otros frutales, muestran contenidos apropiados de los elementos como K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B; solo el nitrógeno en todos los casos está por debajo de los valores considerados adecuados.

**Palabras clave:** cactus, cladodios, precipitación, nutrientes, fenología

## Abstract

There are few studies on the phenology of yellow pitaya and their responses to different soil and climatic conditions. The different growth stages are influenced by altitude, being shorter at 1,000 meters a.s.l. and longer at 1,600 meters a.s.l. Possibly due to its origins in the Andean-Amazonian forest, this plant in the vegetative and reproductive development responds mainly to climatic variables such as precipitation and solar radiation, and also because it is a hemiepiphytic cactus, this plant requires an adequate supply of water for optimal development. Seeking to address this issue, during the years 2009 and 2010, this study was carried out using a cultivar of yellow pitaya in three different locations in the department of Valle del Cauca, Colombia (Palmira, Restrepo and Riofrio). Herein, it was established that the variables vegetative, flowering and filling of fruit development is highly related to the regime of soil moisture is highly associated by local rainfall. The main purpose of the study was to document the productive performance of yellow pitaya for several phenological stages and associate this with soil water regime, along with soil nutritional conditions. Although soil analysis showed low values for some elements, leaf analysis of yellow pitaya plants when compared with values appropriate for other fruits, showing appropriate elements such as K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and B; in all cases, only the nitrogen values were below the values considered to be adequate.

**Keywords:** cactus, cladodes, rainfall, nutrients, phenology

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Objetivos</b> .....	<b>5</b>
1.1. Objetivo general.....	5
1.2. Objetivos específicos .....	5
<b>2. Marco referencial</b> .....	<b>7</b>
2.1. Generalidades de las cactáceas .....	7
2.2. Fisiología de las plantas CAM.....	8
2.3. Metabolismo ácido de las crasuláceas.....	10
2.4. Comportamiento estomático de las cactáceas .....	12
2.5. Factores hidroclimáticos e intercambio de gases.....	15
2.6. Relaciones hídricas en plantas CAM .....	16
2.7. Requerimientos nutricionales.....	18
2.7.1. Generalidades.....	18
2.7.2. Nutrientes esenciales .....	20
2.7.3. Relaciones de intercambio catiónico .....	21
2.7.4. Investigaciones de nutrición en cactáceas .....	21
<b>3. Justificación</b> .....	<b>25</b>
<b>4. Materiales y métodos</b> .....	<b>27</b>
4.1. Localización.....	27
4.2. Determinación del comportamiento productivo de la pitaya amarilla .....	30
4.2.1. Variables evaluadas durante la fase inicial del crecimiento vegetativo del cultivo .....	30
4.2.2. Variables evaluadas durante la fase reproductiva del cultivo.....	31
4.3. Determinación de las relaciones hídricas .....	32
4.3.1. Apertura estomática .....	33

- X Documentación de las relaciones hídricas y requerimientos nutricionales de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, en tres localidades del Valle del Cauca
- 

4.4.	Determinación de requerimientos nutricionales .....	39
<b>5.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>41</b>
5.1.	Determinación del comportamiento productivo .....	41
5.1.1.	Comportamiento climatológico .....	41
•	Condiciones climáticas de Palmira.....	41
5.1.2.	Condiciones climáticas de Riofrío .....	44
5.1.3.	Condiciones climáticas de Restrepo .....	46
	Intensidad de floración y variables de crecimiento del fruto .....	48
5.1.4.	Palmira .....	48
5.1.5.	Localidades de Restrepo y Riofrío .....	51
5.1.6.	Crecimiento y desarrollo del fruto.....	58
5.2.	Determinación de las relaciones hídricas .....	67
5.2.1.	Calibración de equipos para las determinaciones fisiológicas.....	67
5.2.2.	Monitoreo de las relaciones hídricas durante la fase vegetativa y reproductiva del cultivo. ....	67
5.2.3.	Toma de improntas.....	76
5.3.	Determinación de requerimientos nutricionales durante la fase vegetativa y reproductiva del cultivo .....	83
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>91</b>
6.1.	Conclusiones.....	91
6.2.	Recomendaciones.....	92
	Anexos.....	93
A.	Anexo: Anova correlación evolución en tiempo fresco - Palmira .....	93
B.	Anexo. Anova correlación evolución en tiempo peso fresco - Restrepo .....	95
C.	Anexo: Anova correlación evolución en tiempo peso seco - Restrepo .....	96
D.	Anexo: Análisis físico químico de suelos de Palmira .....	97
E.	Anexo: Análisis físico químico de suelos de Restrepo.....	98
F.	Anexo: Análisis físico químico de suelos Riofrío .....	99
G.	Anexo: Análisis foliar Palmira.....	100
H.	Anexo: Análisis foliares Riofrío.....	101
I.	Anexo: Análisis foliares Restrepo.....	102
J.	Tablas de análisis foliares de 25 frutales y <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	103
K.	Anexo: Tabla resumen de los análisis de suelos y foliares en las tres localidades.	104
7.	Bibliografía.....	105

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 4-1. Ubicación geográfica en el Departamento del Valle del Cauca, Colombia, de las localidades en donde se desarrolló la investigación.....	28
Figura 4-2. Lote de pitaya en el C.I. Palmira en el establecimiento.....	29
Figura 4-3. Cultivo en "La Cabaña" Restrepo, Valle del Cauca. Estructura de soporte en "A".....	29
Figura 4-4. Cultivo "El Jardín". Riofrío, Valle del Cauca. Estructura espaldera simple. ....	29
Figura 4-5. Distribución de bloques en cultivo de plantas de pitaya amarilla para el ensayo. C.I. Palmira de Corpoica .....	30
Figura 4-6. Distribución de bloques completos al azar. Finca La Cabaña - Restrepo (Valle del Cauca).....	31
Figura 4.7 Distribución de bloques completos al azar. Finca El Jardín Riofrío (Valle del Cauca).....	32
Figura 4.8. Aplicación del esmalte sobre el cladodio .....	33
Figura 4.9. Puesta de la cinta sobre el esmalte para tomar la impronta de la epidermis..	34
4.10. Portaobjetos con la impronta .....	34
4.11. Equipo Data Logger Li-COR LI-1000, empleado para estimar la radiación solar....	35
4.12. Dispositivo del Sensor 1 o Canal 1 LI 190SA para medir la radiación externa.....	35
4.13. Barra cuántica Sensor lineal LI-191SA con la que se midió la radiación en el interior de la planta.....	36
4.14. Medición de la radiación que llega a los cladodios en el interior de la planta.....	36
4.15. Microscopio de luz Nikon Eclipse 80i. En el monitor esta la imagen del estoma que se esta midiendo.....	37
4.16. Medida del largo de un estoma cerrado (40X).....	37
4.17. Medición de la apertura del ostiolo.....	38
4.18. Medidas del área en micras de la toma con el lente 4X.....	38
Figura 5-1. Precipitación mensual para el año 2009 y 2010. Tomada de la estación meteorológica del C.I. Palmira.....	42
Figura 5-2. Temperatura media mensual para el año 2009 y 2010. Estación meteorológica del C.I. Palmira.....	43
Figura 5-3. Diferencias en temperatura media mensual entre el año 2009 y 2010. Registros tomados de la estación meteorológica del C.I. Palmira.....	43
Figura 5-4. Temperatura máxima, media y mínima mensual. Estación meteorológica del C.I. Palmira para el año 2009. ....	44

Figura 5-5. Humedad relativa máxima, media y mínima mensual, tomada de la estación meteorológica del C.I. Palmira para el año 2009.....	44
Figura 5-6. Precipitación mensual para el año 2009, tomada de la estación meteorológica Manuel M. Mallarino de Trujillo – Valle del Cauca.....	45
Figura 5-7. Temperatura media mensual para los años 2009 y 2010. Estación meteorológica Manuel M. Mallarino de Trujillo – Valle del Cauca.....	45
Figura 5-8. Temperaturas máximas medias y mínimas para el año 2009, tomada de la estación meteorológica de Trujillo – Valle del Cauca .....	46
Figura 5-9. Precipitación mensual para los años 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca.....	46
Figura 5-10. Temperatura media mensual para el año 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca. ....	47
Figura 5-11. Diferencias en temperatura media mensual entre el año 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca.....	48
Figura 5-12. Porcentaje de brotes vegetativos acumulado en plantas de pitaya amarilla sembradas en bolsas plásticas. C. I. Palmira.....	49
Figura 5-13. Evolución del crecimiento de brotes vegetativos de plantas de pitaya amarilla establecidas en el propagador. ....	49
Figura 5-14. Ganancia en peso fresco y seco de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira. ....	50
Figura 5-15. Porcentaje de materia seca y materia fresca de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.....	50
Figura 5-16. Número de frutos por rama de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.....	50
Figura 5-17. Porcentaje de materia seca en raíz y tipos de ramas de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira. ....	51
Figura 5-18. Desarrollo del sistema de raíces de plantas de pitaya amarilla. Localidad de Palmira (Fotos Jorge A. Medina S) .....	51
Figura 5-19. Distribución de los cladodios de una planta de pitaya (Construcción: Nubia Labrador) .....	52
Figura 5-20. Arquitectura de una planta de pitaya y detalle de zonas de crecimiento que generan brotes reproductivos (Fotos: Nubia Labrador) .....	52
Figura 5-21. Longitud de los tipos de ramas en plantas de pitaya amarilla en los cultivos de Riofrío con tres años de edad. ....	53
Figura 5-22. Longitud de los tipos de ramas en plantas de pitaya amarilla en los cultivos de Restrepo con siete años de edad.....	53
Figura 5-23. Correlación entre longitud de ramas segundas y número de posibles brotes. Finca “El Jardín” (Riofrío).....	54
Figura 5-24. Correlación entre longitud de ramas terceras y número de posibles brotes. Finca “El Jardín” (Riofrío).....	54
Figura 5-25. Potencial productivo de plantas de pitaya amarilla de tres años en el cultivo de Riofrío para el año 2009.....	55

Figura 5-26. Potencial productivo de plantas de pitaya amarilla de siete años, ubicadas en Restrepo para el año 2009. ....	55
Figura 5-27. Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo establecido en el C.I. Palmira. ....	56
Figura 5-28. Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo comercial de siete años de edad en el municipio de Restrepo. ....	57
Figura 5-29. Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo comercial de 3 años de edad en el municipio de Riofrío. ....	57
Figura 5-30. Areolas y espinas de pitaya amarilla (Fotos: Alexander Rebolledo Roa). ...	58
Figura 5-31. Estados de desarrollo inicial del brote reproductivo. (A) Diferenciación de espinas y areolas, día 0. (B) Formación de abultamiento en zona superior de areola, día 4. (C y D) Desarrollo del brote reproductivo hasta 10 días .....	59
Figura 5-32. Esquema del desarrollo semanal del brote reproductivo desde su aparición hasta antesis (Foto Andrea Duran).....	60
Figura 5-33. Aparición de botones florales en tres areolas. El ápice del cladodio esta al lado derecho. (Foto: Jorge A. Medina S) .....	60
Figura 5-34. Antesis de la pitaya amarilla (Fotos: Jorge A. Medina S).....	61
Figura 5-35. Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Palmira, (C) Restrepo y (D) Riofrío. ....	61
Figura 5-36. Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Restrepo.....	61
Figura 5-37. Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Riofrío.....	62
Figura 5-38. Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, Palmira.....	63
Figura 5-39. Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Palmira. ....	63
Figura 5-40. Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, en Restrepo. ....	64
Figura 5-41. Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Restrepo.....	65
Figura 5-42. Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, Riofrío. ....	66
Figura 5-43. Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Riofrío.....	66
Figura 5-44. Izquierda, Ubicación de sensores dentro del tejido de la planta. a y c: sensores externos. b y d: sensores internos. Derecha, corte transversal de tallo de plantas de pitaya. mostrando la distribución de haces vasculares.....	67
Figura 5-45. Sensores para medir humedad del suelo, ubicados en Restrepo y Riofrío. ....	68
Figura 5-46. Sensores para medir la velocidad del movimiento del flujo de savia (SAP FLOW), ubicados en Restrepo y Riofrío .....	68
Figura 5-47. Registrador de datos Smart Logger –Restrepo y Riofrío- .....	68

Figura 5-48. Relación entre contenido de humedad del suelo en términos de porcentaje y potencial hídrico expresado en bares, de acuerdo al tipo de suelo. Tomado de Bilskie, 2001.....	69
Figura 5-49. Porcentaje de humedad del suelo del cultivo de pitaya ubicado en la localidad de Palmira.....	70
Figura 5-50. Comportamiento de la precipitación y la evaporación vs floración en el C.I. Palmira 2009 y 2010. ....	72
Figura 5-51. Comportamiento de la precipitación y la evaporación vs floración en el C.I. Palmira 2009 y 2010. Los heptágonos verdes encima de la barra de precipitaciones indican los meses en que emitió botones florales .....	72
Figura 5-52. Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Palmira en mayo de 2011. ....	74
Figura 5-53. Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Restrepo.....	74
Figura 5-54. Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Riofrío.....	75
Figura 5-55. Grado de apertura del poro estomático a diferentes horas del día, en plantas de pitaya amarilla en condiciones de Palmira.....	75
Figura 5-56. Radiación tomada en el C.I. Palmira a diferentes horas del día .....	76
Figura 5-57. Estoma observado en aumento 40X. 5:30 horas. Abierto. ....	76
Figura 5-58. Estomas observados en aumento 40X. 6:30 horas. Abiertos. ....	77
Figura 5-59. Estoma observado en aumento 40X. 6:30 horas. Cerrado.....	77
Figura 5-60. Estoma observado en aumento 40X. 7:30 horas. Abierto .....	77
Figura 5-61. Estoma observado en aumento 40X. 7:30 horas. Cerrado.....	78
Figura 5-62. Estoma observado en aumento 40X. 11:30 horas. Cerrado.....	78
Figura 5-63. Estoma (40X). 11:30 horas. Parcialmente abierto. ....	79

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 4-1. Localización e información general de los tres Municipios de ejecución del proyecto .....	28
Tabla 5-1. Distribución anual de las etapas fenológicas del cultivo de pitaya amarilla para el año 2010. ....	58
Tabla 5-2. ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo....	63
Tabla 5-3. ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo....	64
Tabla 5-4. ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo...666	666
Tabla 5-5. Relación de botones florales por planta en el año 2010 para la localidad de Palmira. ....	700
Tabla 5-6. Medición de la apertura estomática en las improntas tomadas entre las 5:30 y las 7:30 horas.....	79
Tabla 5-7. Medidas de la apertura estomática en las improntas tomadas entre las 8:30 y 10:30 horas .....	80
Tabla 5-8. Medición en micras de la apertura estomática en las improntas tomadas entre las 11:30 y 13:30 horas .....	81
Tabla 5-9. Medición en micras de la apertura estomática en las improntas tomadas a las 14:30 y 15:30 horas .....	82
Tabla 5-10. Media y desviación estándar de la apertura del ostiolo en micras .....	833
Tabla 5-11-. Análisis de nutrientes del suelo de la finca “La Cabaña”. Restrepo. ....	844
Tabla 5-12. Análisis de nutrientes del suelo de la finca “El Jardín. Riofrío .....	855
Tabla 5-13 Análisis de nutrientes del suelo lote 15 C. I. Palmira .....	86
Tabla 5-14. Comparación de medias de nutrientes foliares para la localidad de Riofrío	866
Tabla 5-15. Requerimiento de nutrientes y promedio de análisis de tejidos.....	877
Tabla 5-16. Rango requerimiento de nutrientes y promedio de los análisis de tejidos por cultivo.....	888
Tabla 5-17. Resultados de los análisis foliares de las plantas de pitaya amarilla en los municipios de Riofrío, Restrepo y Palmira. ....	888

## Glosario

**Areola:** Yemas meristemáticas en donde se desarrollan brotes vegetativos o flores, distintiva de la familia Cactaceae. Son depresiones de la epidermis de la planta en las que se encuentran espinas y pelos o cerdas

**Cladodio:** Nombre que en botánica reciben las ramas de las cactáceas, casi siempre aplanadas

**Epífita facultativa:** Plantas que pueden desarrollar su ciclo de vida completo en el suelo o sobre un forófito.

**Forófito:** Nombre que reciben las plantas sobre las que se desarrollan las plantas epífitas.

**Hemiepífito:** Son plantas que crecen sobre un forófito, pero en alguna etapa de su vida las raíces tienen contacto con el suelo.

**Metabolismo CAM:** Toma el nombre por el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM proveniente del inglés Crassulacean Acid Metabolism) es un metabolismo especial de diferentes tipos de plantas. Mientras que la mayoría de las plantas absorben y fijan el dióxido de carbono durante el día, en las plantas CAM las dos están separadas en cuanto al tiempo y la fijación ocurre de noche.

**Metabolismo C<sub>3</sub>:** Las especies C<sub>3</sub> fijan el CO<sub>2</sub> a través del ciclo de Calvin operante en las células del mesófilo, este proceso es durante el día.

**Metabolismo facultativo:** Plantas que pueden fijar el CO<sub>2</sub> como una planta C<sub>3</sub> o como una CAM dependiendo de las condiciones ambientales.

# Introducción

La pitaya amarilla es un recurso fitogenético de Colombia y hay referencias de sus usos desde épocas de la colonia (Patiño R., 2002). A mediados de la década de los ochenta la Federacafe creó el “Programa de Desarrollo y Diversificación” para apoyar a los productores cafeteros en la crisis que se presentaba en el sector; entre los frutales escogidos en este programa se encontraba la pitaya o pitahaya amarilla. Con el fomento de la Federacafe y Proexpo, se promocionó con fines de exportación para los mercados de Japón y Europa. Hacia 1990 se llegaron a tener 1.016 ha sembradas, pero nueve años después se había reducido el área a 118 ha. En el año 2009 el Valle del Cauca era el principal productor nacional por área y productividad, representando el 32,0% del área cultivada en el país (Betancourt G, y otros, 2010), pero debido a problemas fitosanitarios ha llevado a la reducción en la productividad y al área sembrada. Agronet reportó para 2013, un total de 921 ha sembradas, de ellas 360 ha están en Boyacá, 238 ha en el Huila, 125 ha en Santander, 117 ha en el Valle del Cauca, seguidos por 31 ha en Cundinamarca, 25 ha en Tolima y 25 Ha en Bolívar. Lo que muestra un aumento del área respecto al 2011(617 ha). Este crecimiento del área entre 2011 y 2013 corresponde a 304 ha (49,3%).

En las décadas de los años ochenta y noventa la oferta tecnológica para el manejo del cultivo era insuficiente. Como respuesta a necesidades particulares se hicieron varios trabajos de investigación bajo la modalidad de trabajos de grado (pregrado y posgrado), dirigidos a resolver problemas puntuales de los productores o asociaciones de productores. Pero estos trabajos no correspondían a programas de investigación sobre la especie por parte de la universidades Nacional de Colombia, sedes de Bogotá y Palmira y Caldas.

De acuerdo con la Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la pitaya amarilla en fresco en el Valle del Cauca (Betancourt, y otros, 2010) hasta el 2010 en Colombia se identificaron 15 proyectos de investigación, de los cuales cuatro (26,7%) pertenecen al área de agronomía o manejo del cultivo, tres a genética (20,0%), tres a fisiología vegetal (20,0%) y uno en cada una de las área de entomología, fitopatología, bioquímica, poscosecha y agroindustria. Los trabajos en ecofisiología y nutrición son: respuesta a fertilización edáfica (Vasquez P. & Vega L., 1992), respuesta a tres dosis de tres hormonas (Hernández L., 1991) y el efecto de la aplicación de ácido giberélico (Potosí, 2002).

De acuerdo con los estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, la profesora Creucí Caetano (2010) en estudios moleculares encontró que en los materiales vegetales sembrados en Colombia hay muy baja variabilidad genética y también se evidencio la no existencia de quimiotipos. Los departamentos productores de pitaya amarilla en donde se hicieron los estudios fueron: Bolívar, Boyacá, Cundinamarca, Huila, Risaralda, Santander y Valle del Cauca,

En la construcción de la agenda prospectiva de la pitaya amarilla, se priorizaron diez factores críticos tecnológicos que influyen en la productividad del cultivo. Entre los que se destacan el manejo y control de la mosca del botón floral, manejo y control de la pudrición basal, desconocimiento de la ecofisiología, niveles críticos de nutrición, requerimientos hídricos, estacionalidad de la producción, asistencia técnica y el uso de un solo material de siembra (Betancourt, *et al.* 2010).

En Colombia, históricamente la pitaya amarilla ha presentado una marcada estacionalidad en la producción, con dos épocas de cosecha, una mayor en el primer semestre del año (marzo-mayo) y una menor en el segundo semestre (septiembre-noviembre), de acuerdo a comunicación de los productores, en los últimos cinco años, las variaciones y cambios climáticos, ese comportamiento productivo se ha invertido e incluso se presentan varias cosechas en el año.

El desconocimiento de los factores ambientales, hídricos, nutricionales y hormonales que determinan la producción y su comportamiento estacional de la pitaya amarilla, contribuyen a la existencia de una brecha tecnológica amplia (19,6 – 15,0 t/ha), entre su potencial de producción (30 t/ha) y el promedio de producción nacional (10,4 – 15,0 t/ha) (Betancourt *et al.*, 2010). Las condiciones que se describen como óptimas por los productores y asistentes técnicos, no presentan soportes científicos que permita ver la influencia de los parámetros ambientales sobre la producción del cultivo.

La pitaya amarilla como cactácea es asociada por la gran mayoría de personas con climas xerofíticos, por lo que se supone no necesita mucha agua para su crecimiento y desarrollo. Pero contrario a esto, la pitaya amarilla es una epífita facultativa que evoluciono en el piedemonte andino-amazónico en Perú, Ecuador y Colombia; lo que explica su comportamiento trepador y tallo segmentado con facilidad de emitir raíces secundarias. La llamativa forma de su tallo es una característica evolutiva que le permite captar humedad, ya sea de la lluvia o del ambiente y que lleva el agua directamente a la zona de raíces ejerciendo las veces de un canal. Las espinas pequeñas comparadas con las de otros cactus que crecen en ecosistemas xerofíticos, son una evidencia de su evolución en ecosistemas selváticos o boscosos, ya que no necesita protegerse de la luz solar directa y de los predadores debido a que en su hábitat natural está protegida. En este aspecto es muy importante conocer ciertos aspectos de su morfología y anatomía. Como el caso del sistema radical, que tiene un crecimiento acorde a las condiciones del medio en que se desarrolla; esto permite ir entendiendo con más claridad su comportamiento.

El objetivo de la investigación que se ejecutó, es generar conocimiento sobre la influencia de los factores ambientales, relaciones hídricas y variables nutricionales, en la productividad de la pitaya amarilla que permitan generar prácticas adecuadas para el manejo agronómico del cultivo. Se trabajó en el municipio de Palmira, Centro de Investigación – Corpoica a 990 msnm, Restrepo, vereda Tres Puertas a 1.619 msnm y Riofrío, vereda La Judea 1.623 msnm. En Palmira se evaluó un cultivo en su segundo año de desarrollo; en Restrepo y Riofrío, se evaluaron cultivos comerciales en producción de cuatro y seis años respectivamente.

Durante el período 2008 a 2011 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) financió cuatro proyectos de investigación en pitaya amarilla, los cuales fueron ejecutados por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) C.I. Palmira. Dos de los proyectos estaban en el área de fitosanidad: manejo de la mosca del botón floral, *Dasiops saltans* (DIP: Loncheidae) y manejo de la pudrición basal del fruto,

*Fusarium* sp. Los otros dos proyectos manejo agronómico del cultivo y factores ecofisiológicos hicieron parte del área temática fisiología y nutrición.

Este trabajo hizo parte del proyecto “Factores ecofisiológicos que determinan la calidad y el rendimiento del cultivo de la Pitaya Amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran en el Valle del Cauca”. Para los trabajos en campo se hicieron alianzas con la Asociación de productores de pitaya amarilla (Asoppitaya), finca “El Jardín” propietario el señor Jorge Restrepo y con la empresa Ingenieros Agrónomos Asociados de propiedad de los ingenieros Cesar Augusto Londoño y Nora Ruíz de Londoño.



# 1. Objetivos

## 1.1. Objetivo general

Documentar el comportamiento productivo, las relaciones hídricas y la respuesta de la planta en diferentes condiciones nutricionales en relación con el modelo fenológico de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* en tres localidades del Valle del Cauca

## 1.2. Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento productivo de la pitaya amarilla en tres localidades en el Valle del Cauca.
- Determinar las relaciones hídricas durante distintas etapas fenológicas de la pitaya amarilla en tres localidades del Valle del Cauca.
- Observar las respuestas del cultivo de la pitaya a distintas condiciones nutricionales del suelo



## 2. Marco referencial

### 2.1. Generalidades de las cactáceas

Como plantas crasas o suculentas se denominan a todas las que tienen tallos y hojas modificadas para almacenar agua y les permite soportar sequías, aunque también se pueden incluir a las que tienen raíces carnosas para almacenar agua. Este tipo de agrupamiento de plantas, no se puede considerar como una clasificación taxonómica. Las plantas acuáticas también almacenan agua pero la pierden con mucha facilidad, por lo que no se incluyen entre este tipo de plantas (Kiesling y Ferrari, 2005).

Existen nueve familias de plantas características de crasas o suculentas, entre las que sobresalen por la gran cantidad de especies las aizoáceas, cactáceas, bromeliáceas, agaváceas, crasuláceas y las euforbiáceas, con más de mil especies cada una. Las cactáceas son plantas suculentas debido a sus tallos, excepto los de la subfamilia Pereskioideae, que permanecen verdes por varios años e incluso por toda la vida y reemplazan la función fotosintética de las hojas. Esta situación no es común en los tejidos asimiladores, debido a que en las cactáceas pueden permanecer funcionales por muchos años; lo que no ocurre en las plantas con hojas perennes que llegan como máximo a dos años (Kiesling y Ferrari, 2005). En la pitaya amarilla la función de fotosíntesis y almacenamiento de agua se hace en las ramas o cladodios debido a que son estructuras modificadas aptas para ello, por lo cual debe hacerse referencia a área fotosintética y no área foliar (Montoya, *et al*, 1991)

Las especies de la familia Cactaceae son originarias del continente americano, con excepción del género *Rhipsalis*, que se encuentra en algunos países de África y Asia. La pitaya amarilla pertenece a la subfamilia Cactoideae, en donde se agrupan la mayoría de especies de esta familia (Anderson, 2001). Según Esquivel (2004) las cactáceas comestibles se pueden clasificar de tres tipos: las tunas (*Opuntia*), las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares). Aunque hace variar esta clasificación algunas especies del género *Stenocereus* (subfamilia Cactoideae) que se consumen en México, Centro América y Sur América. La especie más común es *Stenocereus queretaroensis*, que se encuentran distribuida en el centro y norte México, conocida como pitayos; su crecimiento es columnar y tienen frutos comestibles, encontrándose de varios colores, púrpura, rojo carmín, naranjos, rosados, amarillos y blancos, los cuales se cosechan entre marzo y mayo (Nobel, 2002).

En los mercados internacionales de frutas frescas se destacan cuatro especies que pertenecen a la familia Cactaceae y a dos subfamilias. Ellas son *Opuntia ficus-indica* conocida como nopal o higo (Colombia) de la subfamilia Opuntioideae y las pitayas de la subfamilia cactoideae. De estas últimas se conocen tres especies que reciben nombres comunes de acuerdo al color de su cáscara o epicarpio; dos son rojas y una amarilla. Las

rojas son del género *Hylocereus* clasificadas como *H. undatus*, de epicarpio rojo y mesocarpio (pulpa) blanco, e *H. costarricensis*, de epicarpio rojo y mesocarpio rojo, ambas sin espinas. La pitaya amarilla, epicarpio amarillo y mesocarpio blanco y con espinas, es de otro género; su nombre científico es *Selenicereus megalanthus* (Anderson, 2001).

## 2.2. Fisiología de las plantas CAM

La distribución de las plantas en los diferentes gradientes ambientales está influenciada por la interacción entre las plantas y su medio ambiente. Sin embargo, el por qué unas plantas se encuentra en un sitio y en otras no, depende de varios aspectos. Uno de estos es lo que llaman Lambers *et al* (1998) citado por Reigosa y Nuria (2004), el “filtro histórico” o sea que la planta, por diferentes razones, nunca llegó a la región de estudio, pero que ha sobrevivido y evolucionado en otras regiones. Por otra parte, si la planta objeto llegó a la zona de estudio y no puede desarrollarse y reproducirse, significa que no pasa lo que llaman el “filtro fisiológico”, que es la capacidad de sobrevivir al ambiente abiótico. Adicionalmente existe el “filtro biótico”, que es la interacción de la planta con el ambiente del ecosistema al que llega y que es capaz de eliminar muchas especies, así tengan las características fisiológicas para sobrevivir al ambiente abiótico, o sea que hayan pasado el “filtro fisiológico”.

La amplitud fisiológica de una planta, es equivalente a su nicho fundamental, que son las condiciones ambientales en las que se realiza debidamente los procesos fisiológicos como la fotosíntesis y el desarrollo. Conociendo esas condiciones se pueden determinar los óptimos fisiológicos para las especies, que son los rangos favorables para que los procesos metabólicos se produzcan de manera eficiente (Reigosa y Nuria, 2004).

Ligado a lo anterior, se tiene el concepto de selección natural que es lo que permite que las plantas expresen o adquieran características para sobrevivir en diferentes ambientes. Para este caso se deben diferenciar dos términos que explican las respuestas de los organismos: adaptación y aclimatación (acomodación). El primero es una respuesta de la planta a desarrollarse en ambientes diferentes, modificaciones que están determinadas por su carga genética. Por su parte, la aclimatación son modificaciones morfológicas y fisiológicas transitorias que surgen de la exposición del organismo a un cambio en el ambiente. Ambas son positivas para la supervivencia de la especie (Reigosa y Nuria, 2004).

Debe tenerse en cuenta que aunque los cambios fenotípicos de la adaptación no son heredables, si lo es la plasticidad fenotípica. Pero esta, no es una propiedad general de un genotipo, es específica para cada carácter o grupo de caracteres que evolucionan por separado, por lo que algunos caracteres pueden ser muy plásticos y otros no (Reigosa y Nuria, 2004).

La familia Cactaceae se encuentra distribuida desde el nivel del mar hasta los 4.000 msnm y desde la Columbia Británica y Alberta Canadá (56°15'N) hasta la Patagonia (50°S) en Argentina. En el continente Norteamericano se encuentran distribuidas de costa a costa, en todo el Caribe y en Suramérica desde las Islas Galápagos hasta la Isla Fernando de Noronha (Brasil) en el Océano Atlántico (Anderson, 2001).

Esta familia ha tenido pocos estudios taxonómicos destacándose lo realizados por Britton y Rose. En 1984 se crea "The International Cactaceae Systematics Group (ICSG)" apoyado por el Royal Botanic Garden en Kew (Londres) que realiza la clasificación de la familia. De acuerdo con esto se reconocen cuatro subfamilias: Pereskioideae, Maihuenioideae, Opuntioideae y Cactoideae. Pero también la clasificación de la Organización Internacional para el Estudio de Plantas Suculentas (IOS, por sus siglas en inglés) (Anderson, 2001)

La subfamilia Pereskioideae se considera el grupo de cactus con características más primitivas o ancestrales. En términos generales, este taxón está compuesto por plantas arbustivas, arbóreas o trepadoras. Una de sus características es que presentan para la asimilación de carbono metabolismo CAM en el tallo y C<sub>3</sub> en las hojas. Las especies de la subfamilia Maihuenioideae tienen metabolismo C<sub>3</sub> únicamente. Las subfamilias Opuntioideae y Cactoideae se reconocen por tener metabolismo CAM (Anderson, 2001).

Las especies de la familia cactaceae, tiene una gran variedad de hábitats y nichos para su crecimiento natural. Pero especialmente la subfamilia Cactoideae presenta la mayor variabilidad tanto en hábitats como en tipos de crecimiento de las especies. Las hay columnares, arbóreas, arbustivas, crepitosas, trepadoras, epífitas o hemiepífitas (Anderson, 2001).

La palabra epífita proviene del griego *epi* sobre y *phyton* planta, lo que indica que son plantas que crecen sobre otras. Las que sirven de soporte se llaman forófitos. La adaptación para crecer por encima del suelo les da una ventaja competitiva por la luz sobre otras plantas, pero a su vez es desfavorable en cuanto a la captación de agua y nutrientes. Para contrarrestar esto, las plantas epífitas han desarrollado modificaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas. También estrategias para captar, absorber y almacenar el agua con los solutos disueltos en ella y evitar su pérdida (Ceja R, *et al*, 2008).

La clasificación de las epífitas no es fácil, debido a la heterogeneidad de tipos que se presentan en los diferentes ecosistemas. La pitaya amarilla se puede describir como una epífita facultativa, porque desarrolla su ciclo vegetativo completo sobre el suelo o sobre otra planta. En el suelo es como se cultiva y el segundo como se da en su hábitat natural (Ceja. *et al*, 2008)

Las cactáceas consideradas epífitas facultativas o epífitas secundarias emiten fácilmente raíces adventicias que les permite fijarse a la corteza de otras plantas o a rocas. Así como también les sirve para absorber agua y nutrientes (Nobel, 2002).

Los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus* son originarios de América tropical. Estas especies y otras cactáceas tropicales desarrollan raíces aéreas y crecen como epífitas o hemiepífitas en climas con poca variación anual de temperatura, alta precipitación pluvial y niveles de luz reducidos por el follaje de los árboles que las hospeda. En varias de estas especies el intercambio gaseoso y el crecimiento se inhiben cuando las plantas crecen en sitios expuestos a la radiación solar total. Por esto, en plantaciones comerciales de pitahaya se usa sombra artificial que atenúa 30 a 60% de la radiación (Andrade *et al*, 2006)

En investigación realizada en Israel (Raveh, *et al*, 1998) donde se evaluó el comportamiento de las especies *Selenicereus megalanthus* e *Hylocereus polyrhizus* en tres condiciones de sombra, 30%, 60% y 90%. Se encontró para ambas especies, que el

peso seco de las raíces fue mayor bajo 30% de sombra, disminuyendo significativamente con el incremento del nivel de sombra. Por su parte, la relación peso seco raíz/tallo en peso seco disminuyó de manera similar para ambas especies, siendo inferior en un 32-34% para el 60% y el 90% de los regímenes de sombra, respectivamente. La relación raíz/tallo que está en el rango informado para otros cactus, coincidiendo con lo referenciado por Nobel (1991) citado por Andrade (2006), quien dice que en cactus esta relación es generalmente más bajo que la mayoría de los otros cultivos (Raveh *et al*, 1998)

En la anterior investigación, también se encontró que la floración en el primer año fue baja, oscilando entre uno y tres flores por planta, mientras que la floración significativa fue evidente de segundo año en el estudio. El número de flores por planta en *S. megalanthus* que crecieron con niveles de sombra de 30 y 60% fueron similares. Mientras que *H. polyrhizus* produjo 2,2 flores más con el 30% de sombra. Al respecto, se indica que en cada especie existe una correlación entre el número de flores y la biomasa en respuesta a la sombra (Raveh, *et al*, 1998)

Por otra parte el agua se suministró en abundancia, a fin de mantener alto el potencial de agua en el suelo, la cantidad anual de agua para el riego (60 mm) en el segundo año después de la plantación fue seis veces menor que la cantidad recomendada para los árboles frutales de hoja perenne como el mango y cítricos cultivados en la zona Besor (Israel). Por lo tanto, la eficiencia del uso del agua para la producción de fruta de la cactácea estudiada fue muy alta para las condiciones ambientales del estudio (Raveh, *et al*, 1998).

La naturaleza xerofítica mayor de *H. polyrhizus* se expresó también en el contenido de agua del tallo (porcentaje de peso fresco), que refleja la capacidad de la planta para almacenar agua, siendo significativamente mayor en *H. polyrhizus*. En ambas especies, el contenido de agua aumentó con el aumento de sombreado, un fenómeno bien conocido en otras plantas (Raveh, *et al*, 1998).

### **2.3. Metabolismo ácido de las crasuláceas**

Las plantas de metabolismo de fijación de carbono tipo CAM, abren los estomas durante la noche –liberando oxígeno y fijando CO<sub>2</sub> atmosférico– precisamente cuando las temperaturas son más frescas y la humedad del ambiente es comparativamente alta. A pesar de lo fascinante de su vía metabólica, las plantas CAM tienen algunas desventajas. Por ejemplo, la absorción de CO<sub>2</sub> está limitada por la cantidad de ácido málico que las vacuolas pueden acumular. Además, almacenar oxígeno durante el día ocasiona que su rendimiento fotosintético sea bajo, lo que se traduce en tasas de crecimiento también bajas (Larrea-Alcázar, 2008).

El metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM por sus siglas en inglés) es un ejemplo de adaptación de las plantas al estrés ambiental. Se presenta en plantas que crecen en sitios con períodos de escasa disponibilidad de agua o de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Incluye plantas del desierto, acuáticas y epífitas. Lo presentan aproximadamente el 7% de las plantas vasculares. En ambientes similares las plantas CAM son más eficientes en el uso del agua que las plantas con metabolismo C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Se ha evidenciado entre dos a cinco veces mayor (Andrade *et al*, 2006), o sea, están mejor adaptadas a ciertos ambientes.

El metabolismo CAM se encuentra en diferentes familias genéticamente lejanas, como las bromeliáceas, cactáceas, orquidáceas, agaváceas y euforbiáceas. Muchas de las plantas epífitas tienen este metabolismo y se encuentran hábitats muy variables, sobre todo en lo relacionado con la disponibilidad de agua. Para soportar las sequías presentan diferentes adaptaciones como son la succulencia de hojas y tallos, cutículas impermeables, tricomas foliares y hojas en forma de roseta; que les permite retener o coleccionar agua útil para fotosíntesis y su crecimiento (Andrade *et al*, 2007).

*Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose (Pitaya roja) se encuentra en forma silvestre en selvas tropicales en Centroamérica, con un periodo seco muy marcado y con diferencias estacionales en la cantidad de follaje de los árboles tutores en que habita. Por tanto, el flujo de fotones para fotosíntesis (FFF; longitud de onda de 400-700 nm) que *H. undatus* recibe cambia drásticamente durante el año. Por ejemplo, en el dosel de una selva baja caducifolia, un sitio en el que *H. undatus* también crece, dos especies de epífitas CAM reciben tres a nueve veces más FFF en el periodo seco que en el de lluvias. Los cambios en el FFF durante el año afectan el crecimiento de la pitaya roja, porque la fijación de CO<sub>2</sub> disminuye en condiciones de sequía con altos valores de FFF. Por esto, en plantaciones comerciales de pitaya roja en Centroamérica se utiliza sombra artificial que atenúa 30 a 60% de la radiación (Andrade *et al*, 2006)

De acuerdo con Andrade *et al* (2007), muchas plantas CAM se han caracterizado como facultativas o intermedias C<sub>3</sub>-CAM. Estas tienen la capacidad de fijar carbono mediante metabolismo C<sub>3</sub> en respuesta a la disponibilidad de agua, a cambios de humedad relativa, temperatura del aire, cantidad y calidad de la luz. Durante el día fijan CO<sub>2</sub> mediante rubisco y durante la noche mediante la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC), con modificaciones en las fases II y III del modelo CAM. “La transición de C<sub>3</sub> a CAM es benéfica para las plantas, cuando se encuentran bajo estrés hídrico y altas temperaturas. Porque el cierre diurno de los estomas evita la pérdida de agua y protege la integridad del aparato fotosintético. En el caso contrario, cuando existe disponibilidad de agua, las plantas que pasan de metabolismo CAM a fotosíntesis C<sub>3</sub> pueden abrir los estomas durante el día, lo que garantiza una mayor fijación de CO<sub>2</sub>.”

El género *Clusia* (Clusiaceae) presenta variación en los hábitats de sus especies que pueden encontrarse epífitas, hemiepífitas, arbustos o árboles (excepción en las CAM); esta muestra una alta plasticidad en la manifestación del metabolismo CAM al responder a cambios ambientales. En este género se pueden tener al menos cuatro tipos de metabolismo de fijación de carbono, (A) Metabolismo C<sub>3</sub>; (B) Metabolismo CAM “fuerte”; (C) Metabolismo C<sub>3</sub>-CAM; y (D) Metabolismo CAM de reciclaje (CAM “cycling”) (Andrade *et al*, 2007).

Díaz (2001) citado por (Gil-Marín *et al*, 2006), indicó que se ha demostrado experimentalmente que la protección parcial que les brinda los árboles donde crecen, favorece la productividad de algunas suculentas, como *Aloe vera* (Aphodelaceae) y *Agave cocui* (Agavaceae), debido a que la sombra parcial favorece su balance hídrico y les permite una mayor fijación de carbono y una reducción del gasto energético por transpiración y respiración (Anderson, 2001).

Es conocido que cuando se aplica riego a las plantas de *Aloe vera*, estas asimilan el CO<sub>2</sub> durante el día y la noche a través de la combinación de las rutas fotosintéticas C<sub>3</sub>-día y

CAM-noche, lo que muestra la plasticidad fotosintética de esta especie (Patishtán P, *et al*, 2010).

## 2.4. Comportamiento estomático de las cactáceas

La supervivencia de las plantas es posible debido a que la pérdida de agua por la transpiración se compensa por la absorbida por las raíces. Esto se produce por el gradiente de potencial hídrico provocado por la evaporación del agua del suelo y por la planta, lo que ocasiona que se absorba agua del suelo y ascienda por el haz vascular (Guardiola y García, 1990).

El agua en las plantas se evapora por todas las superficies limitantes de la planta tanto externas como internas, aunque la mayor parte lo hace por las hojas. Esto debido a las adaptaciones anatómicas que posee para el intercambio gaseoso y la alta relación superficie/volumen. La pérdida del agua en las hojas está normalmente en el rango de 0,5 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>h para plantas mesofíticas que crecen en condiciones de humedad y clima cálido. Pero en la noche mucho más baja la transpiración, ya que puede estar por debajo de 0,1 g/dm<sup>2</sup>h (Guardiola y García, 1990).

En términos cuantitativos en el balance hídrico de la planta, la mayor pérdida del agua (80 a 90%) se produce en forma de vapor mediante la transpiración estomática (Villalobos, 2001). Los estomas se encuentran en toda la superficie de la planta con excepción de la raíz, pero en mayor cantidad en las hojas (Guardiola y García, 1990). De acuerdo a la especie, variedad y/o ecotipo, la morfología, distribución y densidad de los estomas varía (López, 2000). Cuando los estomas se encuentran en las dos superficies de las hojas se denominan anfiestomáticas; mientras que cuando se encuentran en la superficie abaxial se denominan hipoestomáticos. Las hojas epiestomáticas son aquellas que poseen estomas únicamente en la cara adaxial o haz de la hoja (Guardiola y García, 1990).

Según López (2000), en la mayoría de las especies anfiestomáticas la densidad del haz es menor que en el envés, como es el caso de *Pelargonium* que tiene 30/mm<sup>2</sup> contra 150/mm<sup>2</sup>. Mientras que en algunas gramíneas como el trigo y el maíz, la densidad estomática es muy parecida en ambas caras. En el caso del maíz esta entre 100 y 110 estomas/mm<sup>2</sup>. En los cultivos semestrales como maíz, frijol, girasol, tomate, soya y algodón puede variar entre 40 y 140 estomas/mm<sup>2</sup> en la superficie adaxial y en la superficie abaxial entre 62 y 314 estomas/mm<sup>2</sup>. Algo poco frecuente en las plantas cultivadas se da en especies como la palma de aceite que no tiene estomas en la superficie adaxial y en el trigo que el número de estomas es mayor en la superficie adaxial (Villalobos, 2001)

Con frecuencia, las células estomáticas y el tejido protector están en el mismo nivel que las otras células de la epidermis, pero a veces se encuentran en el fondo de un hoyo o depresión (Mauseth, 1984). En algunas especies, la cutícula del tejido maduro es muy gruesa y provoca un aumento en la distancia de los estomas de la turbulencia de aire, lo que hace que los estomas aparezcan hundidos (Anderson, 2001)

Napp-Zinn y Jones (1985), citados por Meister y Bolhar (2004), demostraron que el tamaño de las células guardas y la densidad estomática dependen de las condiciones ambientales durante el crecimiento de la hoja. Al respecto, se han realizado estudios de familias y géneros de plantas sobre la influencia de las condiciones climáticas regionales en los

patrones de distribución de los estomas la dispersión, el número y arreglo de las células subsidiarias; así como la forma de las células guardas (Meister y Bolhar, 2004).

La disponibilidad hídrica, la intensidad luminosa, la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera pueden influir en en la frecuencia y disposición de los estomas, así como el grado de expansión del área foliar. La eficacia en el uso de la luz y el agua pueden verse afectadas por la densidad estomática y el tamaño del ostíolo, ya que estos pueden afectar los procesos de fotosíntesis y transpiración por unidad de área foliar (Meister y Bolhar, 2004).

La densidad estomática depende de diferentes factores que controlan el desarrollo foliar, como son: disponibilidad de agua, intensidad luminosa, temperatura y concentración de CO<sub>2</sub>. En diversos experimentos se ha demostrado que la concentración de CO<sub>2</sub> no solo afecta el comportamiento de los estomas, si no que también lo hace con la densidad estomática, entre mayor sea su concentración menor es por unidad de área foliar. Además, hay evidencias experimentales que muestran que la densidad de los estomas por unidad de área varía con la altitud, ya que la presión parcial de CO<sub>2</sub> disminuye a medida que esta aumenta. Woodward (1986) y otros, citados por Sánchez-Díaz observaron que si ocurre un aumento en la densidad estomática con mayor altitud, pero puede que esto no esté ligado solamente a la disminución de la presión o a la concentración de CO<sub>2</sub> (Sánchez-Díaz, *et al* 2002).

La frecuencia estomática en los cactus son bajas y muy variables, de 20 a 80 por mm<sup>2</sup>, en comparación con las hojas de especies C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, donde es de 100 a 300 estomas por mm<sup>2</sup>. La apertura del poro estomático para cactus tiende a ser grande en comparación con otras dicotiledóneas. Por ejemplo, para *Opuntia amyclaea*, *O. ficus-indica*, *O. joconostle*, *O. megacantha*, *O. robusta*, y *O. streptacantha*, el eje mayor del poro varía desde 33 hasta 62 micras; mientras que para no cactáceas el eje mayor de los poros es de alrededor de 20 micras para no cactáceas (Terrazas y Mauseth, 2002)

Roth et al (1986) citado por Pares-Martínez *et al*, (2004) “plantearon que en estudios relacionados con anatomía foliar se deben considerar aspectos individuales tales como el índice estomático (IE). Cuyo valor que puede variar dentro de la misma hoja según la parte del limbo que se analice (ápice, media o base), posición de la hoja en la planta, y el ambiente ecológico donde crece la planta. Del mismo modo, la densidad estomática (DE) parece estar relacionada con ciertas familias, además de existir relación entre la DE y el tamaño de las células oclusivas, de tal manera que la alta DE se presenta en plantas con células oclusivas pequeñas y viceversa.”

Rubino *et al* (1989) y Takur (1990) citados por Parés-Martínez *et al* (2004), indicaron que la resistencia estomática de la planta se incrementa con la disminución de la DE, ya que se limita el exceso de transpiración. Así mismo varios autores (Rubino *et al* (1989), Bethke y Drew (1992) y Salas *et al* (2001)) citados por Parés-Martínez *et al* (2004) indican que tanto la DE como el IE son variables que están fuertemente influenciadas por la especie vegetal así, como por las condiciones ambientales donde crecen plantas como sequía y altas concentraciones salinas.

La longitud de poro estomático está orientada a lo largo del eje longitudinal del vástago en Pereskioideae y Opuntioideae, pero exhibe una orientación aleatoria en la mayoría de las especies de la subfamilia Cactoideae. En cualquier caso, el área de los poros abiertos de

los estomas para cactus tiende a ser menor que para las hojas de especies C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, lo que refleja el uso eficiente del agua por parte de los cactus (Terrazas y Mauseth, 2002)

Cuando los estomas están en el fondo de depresiones o rodeado de cutícula gruesa, la resistencia a la pérdida de vapor de agua se aumenta ligeramente. Las especies de *Maihuenia*, *Pereskia*, *Pereskioopsis* y *Quiabentia*, poseen estomas principalmente en sus hojas (o cerca de las areolas), mientras que la mayoría de Opuntioideae y Cactoideae tienen estomas principalmente en la epidermis del tallo. Algunas especies de Cactoideae tienen presencia de estomas limitada a determinadas regiones del tallo, como en los valles entre las costillas o en los bordes de los tubérculos y los estomas están ausentes en la epidermis de ciertos brotes y cefalios (Terrazas y Mauseth, 2002). Las capas exteriores de células de *Cleistocactus parviflorus*, presentan estomas hundidos (Anderson, 2001)

Hernández *et al* (2007), encontraron que la especie *Myrtillocactus geometrizans* (Cactoideae), presenta una densidad estomática variable entre 18 a 30 estomas/mm<sup>2</sup>. Por su parte Nobel (1994) citado por Hernández *et al* (2007) indica que en las plantas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> que habitan zonas áridas la densidad estomática esta entre 100 y 300 estomas/mm<sup>2</sup>. En el mismo texto se cita a Pimienta-Barrios *et al* (1993), quienes reportan para las especies del género *Opuntia* una densidad estomática entre 9 y 38 estomas/mm<sup>2</sup> Nobel (1994) y Sajeva y Mauseth (1991) reportan para especies de la subfamilia Pereskioideae una densidad menor de 20 estomas/mm<sup>2</sup> en el tallo y superior a 51 estomas/mm<sup>2</sup> en sus hojas. Para Restrepo, Valle del Cauca Colombia, Potosi (2002) encontró en Restrepo que la densidad estomática de la pitaya amarilla es de 29 estomas/mm<sup>2</sup>.

En Colombia en plántulas desarrolladas a partir de semilla sexual, observo en el sistema de tejidos de la lámina foliar de hojas cotiledonales de pitaya amarilla; que poseen la epidermis adaxial, epidermis abaxial y mesófilo. En la epidermis se observan escasos estomas de tipo anisocítico. En las vitroplántula observó que la epidermis está compuesta por una sola capa de células con paredes delgadas de formas ovaladas y rectangulares con una delgada cutícula, con presencia de estomas del tipo anisocítico, con células subsidiarias en número de tres o cuatro (Suarez, 2011).

En una investigación realizada en Israel por Raveh *et al* (1998), los estomas de *H. polyrhizus* están hundidos en la epidermis 40-50 micras por debajo de la superficie, y la epidermis cubierta con cera. Mientras que en *S. megalanthus*, los estomas se encuentran en el mismo nivel que la epidermis como una gran masa y no se ve cubierta de cera.

En el municipio de Restrepo Potosi (2002) utilizando el método de improntas en el cultivo de pitaya amarilla en Restrepo a 1.320 msnm (Valle del Cauca) finca "La Cabaña" encontró que la apertura estomática total se da entre las 22:00 y las 04:00 horas y entre las 05:00 y las 07:00 horas. El cierre total de estomas se observó entre las 08:00 y 17:00 horas. Posterior a esta hora, se observó nuevamente una apertura parcial de estomas hasta las 22.00 horas.

Sánchez *et al*, (2013) en un estudio hecho entre los municipios de Fusagasugá y Silvania, Colombia, a una altitud de 1.700 msnm y temperatura de con 20°C, observaron apertura de estomas en la noche y cierre total en el día, que corresponde con el comportamiento típico de plantas CAM.

## 2.5. Factores hidroclimáticos e intercambio de gases

El déficit hídrico es un concepto fisiológico o ecofisiológico y se refiere a cualquier limitante en el suministro de agua a los tejidos de la planta. Normalmente este déficit es temporal y la disminución del agua disponible en el suelo es progresiva; aunque este déficit también puede ser de días de meses e incluso de años; como ocurre en épocas de sequías largas o en ecosistemas áridos. En cambio el término aridez se utiliza para definir o caracterizar regiones en las que debido a la escasez permanente de agua la vegetación es escasa; esta no es una condición temporal como la de sequía o déficit hídrico (Medrano y Flexas, 2004)

Sin embargo, el concepto de aridez es relativo, ya que tiene diferentes grados dependiendo del balance entre precipitación y las pérdidas de agua. Estas últimas dependen de diferentes circunstancias edafoclimáticas como altas temperaturas, baja humedad, vientos fuertes, escorrentia y/o porosidad, suelos impermeables, entre otras características. Por estas razones un ecosistema puede ser arido con presencia de un régimen de lluvias que en otra zona sería suficiente para tener vegetación permanente (Medrano y Flexas, 2004)

Los cultivos anuales tienen un período específico de supervivencia muy corto, cuando se refiere al tiempo que una planta puede resistir después de que ha cesado el suministro de agua por las raíces. Este tiempo específico de supervivencia depende del balance entre el agua que la planta conserva y aquella que pierde por transpiración. Es en estos casos de sequía un cierre temprano de los estomas es importante para la supervivencia, debido a que la planta sacrifica fotosíntesis y desarrollo vegetativo, pero mantiene la hidratación y la estabilidad fisiológica de sus tejidos (Villalobos R, 2001)

Nobel y De La Barrera (2004) consideran que el clima de los bosques nativos tropicales es el hábitat del cactus *Hylocereus undatus*. El cual consideran como un cactus hemiepífito, que puede ayudar a explicar que su captación neta de CO<sub>2</sub> responde a factores ambientales. Los autores encontraron que en condiciones de humedad cerca del 85%, del total de la absorción total neta diaria del CO<sub>2</sub> se produce por la noche a través del metabolismo ácido de las Crasuláceas, dando lugar a una alta eficiencia del uso del agua. El total diario de la absorción neta de CO<sub>2</sub> se reduce un 57% en tan sólo 10 días de sequía, con el posible cierre de los estomas inducido por ácido abscísico producido en las raíces, que por lo general ocupan un volumen pequeño de sustrato. Además encontraron que el total diario de absorción neta de CO<sub>2</sub> de *H. undatus* es máxima a temperaturas día/noche de 30/20 °C; temperaturas que son más altas que las de los cactus del desierto, pero representativa de la temperatura ambiente en el trópico. La absorción neta diaria de CO<sub>2</sub> se reduce a cero a temperaturas día/noche de 42/32 °C. El daño del tallo para *H. undatus* se produce a 45 °C, cuyas células fotosintéticas muestran poca aclimatación a altas temperaturas en comparación con otros cactus y son también sensibles a bajas temperaturas; 1,5 °C bajo cero matan estas células.

Nobel y De La Barrera (2004), encontraron que en hábitat sombreado, la absorción neta diaria total de CO<sub>2</sub> para *H. undatus* es apreciable a un FFF (flujo de fotones para fotosíntesis) total diaria de sólo 2 mol/m<sup>2</sup>día y es máxima a 20 mol/m<sup>2</sup>día, por encima del cual la fotoinhibición reduce la absorción de CO<sub>2</sub> neto. También encontraron que la

capacidad neta de absorción de CO<sub>2</sub>, está altamente correlacionada con el contenido de nitrógeno y de clorofila en el tallo. En cuanto a la disponibilidad de CO<sub>2</sub>, la duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico eleva el total de la captación neta diaria de CO<sub>2</sub> de *H. undatus* en un 34% en condiciones ambientales óptimas y con porcentajes incluso mayores en condiciones ambientales adversas.

En una investigación en Israel, Raveh *et al* (1998) estudiaron el efecto de la sombra en el crecimiento de *Selenicereus megalanthus* e *Hylocereus polyrhizus* en dos invernaderos con polisombras de 30, 60 y 90%. Encontraron que la elongación del tallo se llevó a cabo en ambas especies, sobre todo en los meses cálidos, (mayo a octubre), período durante el cual las fluctuaciones mensuales promedio de temperatura osciló entre 15 y 35°C. Esas temperaturas son más extremas (tanto mínima y máxima) que las de las regiones de origen de estos cactus trepadores o hemiepífitos (Mizrahi *et al*, 1997; Barbeau, 1990).

Raveh *et al* (1998) encontraron también que las condiciones más favorables para el crecimiento y producción de frutos en *H. polyrhizus* se presentó con un 30% de sombra, mientras que para *S. megalanthus* fue más conveniente la sombra de 60%. Al parecer para las dos especies esas temperaturas facilitan una mayor acumulación de ácido, mayor contenido de carotenoides y clorofila, y una mejor apariencia del tallo.

Por otra parte el efecto del nivel de sombra en el peso seco de la raíz y la relación tallo/raíz para ambas especies también se estudió. El peso seco de las raíces fue mayor bajo 30% de sombra, disminuyendo significativamente con el incremento del nivel de sombra. La relación raíz/tallo disminuyó de manera similar con sombra para ambas especies, fue inferior en un 32 a 34% para el 60 y el 90% de sombra, respectivamente; respecto al 30% de sombra (Raveh, Nerd, & Mizrahi, 1998).

De acuerdo a Raveh *et al* (1998) la acumulación de ácido nocturno fue mayor para *H. polyrhizus* bajo el 30% de sombra y para *S. megalanthus* bajo el 60% de sombra. En comparación con sus niveles máximos, la acumulación de ácido nocturno se redujo en un 35% en *H. polyrhizus* a plena exposición y en el 70% bajo 90% de sombra. Mientras que en *S. megalanthus* la reducción a plena exposición fue mayor (80%) y bajo el 90% de sombra fue menor (59%). Estos resultados indican que *H. polyrhizus* se adapta mejor a una densidad de flujo de luz mayor que *S. megalanthus*.

## 2.6. Relaciones hídricas en plantas CAM

En los suelos agrícolas, cuando se encuentran a capacidad de campo en el espacio poroso la fracción hídrica puede ocupar entre el 40 y el 60%. La continuidad de la lámina de agua que se encuentra en el suelo es de vital importancia para el movimiento del agua y de los nutrientes hacia la raíz de la planta (López, 2000).

El potencial hídrico se representa por  $\Psi$  y es la diferencia de potencial químico entre el agua en cualquier punto del sistema y el agua pura a la misma temperatura y una atmósfera de presión. El agua se difunde de una zona de alto potencial a una de más bajo potencial (López, 2000). El potencial hídrico se compone de fuerzas con diversos orígenes que liga al agua al suelo o a los tejidos vegetales, entre estas se tienen la presión osmótica, la capilar, de imbibición y de turgencia (Azcon B y Talon, 1996). Según Villalobos (2001) el

mecanismos de absorción de agua por la raíz puede variar de acuerdo a la especie. Además, expresa el interrogante de que los pelos radicales no juegan un papel importante en la absorción de agua, basándose en que algunas especies no tienen pelos radicales. Pero también, en contraposición a esa teoría expresa que está comprobado que algunas especies amplían la superficie radical expuesta entre tres y diez veces, debido a la existencia de los pelos radicales, esto último es el caso de las cactáceas.

De acuerdo con Villalobos (2001), los factores que influyen en la absorción de agua por la raíz están: la textura y porosidad del suelo, la deshidratación de la raíz, la temperatura del suelo, la anoxia, la concentración de minerales en la solución del suelo y la nutrición mineral. López (2000), expresa que al agua entra a la planta por los pelos absorbentes, aunque toda la superficie de la raíz lo puede hacer, estos pelos se presentan sobre todo en plantas herbáceas y en los árboles son escasos, interviniendo las micorrizas.

La absorción del agua puede ser atmosférica, como es el caso de las plantas xerofíticas y epífitas, que aunque puede ser poca es esencial para la supervivencia de esas plantas. Las orquídeas tropicales y algunas bromelias no presentan pelos absorbentes pero tienen el velamen o vela, que son varias capas de células muertas con las cuales pueden absorber el agua atmosférica (López, 2000).

La savia bruta es una solución conformada por agua, sales minerales y productos del metabolismo del nitrógeno realizado en las raíces. Esta solución es muy diluida y mucho menos concentrada que el jugo vacuolar de las células corticales. El ascenso de esta en la planta es pasiva y depende de la tasa de transpiración y la presión radical (López, 2000).

El movimiento ascendente del agua en la planta se explica mediante la teoría cohesión-tensión-transpiración, que se sustenta en tres elementos: la fuerza impulsora, la hidratación o adhesión y la cohesión del agua. Este sistema “funciona debido a los tubos de diámetro pequeño y de paredes gruesas con alta resistencia mecánica, los bajos potenciales osmóticos de las células vivas del tallo y las hojas y las propiedades hidratantes de las paredes celulares principalmente de las hojas” (López, 2000).

En un estudio comparativo de las dos especies de cactus de Raveh *et al* (1998) se suministró agua en abundancia a fin de mantener el potencial de agua en el suelo lo más alto posible, la cantidad anual de agua utilizada para el riego es de 60 mm en el segundo año después de plantarlos, esta es seis veces menor que la cantidad recomendada para los árboles frutales de hoja perenne como el mango y cítricos cultivados en la zona Besar y con el rendimiento de fruto similar, teniendo en cuenta lo anterior, la eficiencia del uso del agua para la producción de fruta es muy alta y es lo que se puede esperar de los cactus.

Rodríguez (1993), indica que en los cultivos de pitahaya en el estado de Yucatán, México, durante el período seco (marzo a mayo), se riegan los cultivos y esto acelera la floración y la fructificación.

Por su parte, Mizrahi, citado por Sabino (2010), encontró que la cantidad de botones florales se reduce con la disminución del riego, lo que coincidió con lo encontrado su investigación.

En lo que hace referencia al estrés de las plantas por las altas temperaturas, Anderson (2002) informa que la mayor cantidad de las plantas de cultivos comerciales son termófilas

moderadas. Porque sus umbrales de daño por altas temperaturas está entre los 45 y 65°C. El mismo autor señala que en las plantas suculentas en el desierto la temperatura al interior de la hoja puede ser superior hasta en 15°C con respecto al ambiente externo.

Con relación a la interacción tiempo-temperatura de exposición Anderson (2002) indica que se debe tener en cuenta el daño que pueden sufrir las plantas. Esto se aprecia en el hecho de que a medida que se alarga el período de exposición, la temperatura requerida para que aparezcan daños se reduce. Además, al parecer la aparición de daños puede ser por un efecto acumulativo, ya que el desarrollo de estos se vio en exposiciones interrumpidas al igual que en exposiciones continuas. Un aspecto importante que toca este autor es que las temperaturas subletales producen pérdidas de viabilidad en la semilla, pero también afectan la producción en cantidad y calidad. En el caso del tomate la producción de fruto se ve inhibido por las altas temperaturas, siendo las nocturnas las que más afectan.

## **2.7. Requerimientos nutricionales**

### **2.7.1. Generalidades**

La nutrición mineral requiere de un conjunto de procesos estrechamente ligados y dinámicos. En ellos se incluye el paso de los elementos esenciales de naturaleza inorgánica presentes en la fase sólida a la solución del suelo. El paso de estos a la raíz de las plantas para ser absorbidos y transportados a diferentes partes de ella y para ser utilizados en los procesos metabólicos. La absorción de los nutrientes por la planta depende de muchos factores abióticos y bióticos, como los son el tipo de suelo, factores climáticos, los microorganismos, la planta y todas las interacciones que se dan entre ellos (Villalobos, 2001).

Teniendo en cuenta, que en la rizosfera ocurren procesos complejos que intervienen en la dinámica de los nutrientes, Villalobos (2001) propone para la nutrición de las plantas el concepto de adquisición de iones. Porque es más amplio que el de absorción, ya que este solo implica la transferencia de elementos minerales de la solución del suelo al interior de la raíz.

Desde el campo de la fisiología y de los aspectos económicos de los cultivos, la nutrición es muy importante; si a esta actividad no se le pone la suficiente atención se amenazan las producciones de los cultivos y por ende las ganancias económicas de los productores. En los cultivos anuales o semestrales, el descubrimiento de deficiencias en forma tardía no permite corregirlas para mejorar la producción en forma significativa. Por el contrario, en los cultivos perennes se dispone de mayor período de tiempo para corregir las deficiencias y disminuye su efecto respecto al órgano cosechado. Las deficiencias de nutrientes se pueden presentar por múltiples factores, para lo que los análisis del suelo y foliares son un gran apoyo, pero en ocasiones la experiencia del productor y/o del técnico, puede contribuir a hacer los correctivos necesarios (Villalobos y Killorn, 2002).

Hinsinger, citado por Villalobos y Killorn (2002), propone que para un mejor diagnóstico en los resultados de un análisis de suelos con respecto a la nutrición, este se debe complementar con un análisis físico-químico de la rizosfera. Porque las características

químicas difieren entre las partes del suelo que están y no están influenciadas por la raíz y por los que no están en contacto con ella; además, la microflora del suelo juega un papel muy importante en la disponibilidad de macronutrientes como N y P.

El análisis foliar refleja las condiciones del tejido foliar y por lo tanto son un importante complemento de los análisis químicos de suelos, lo que los hace una valiosa herramienta para el diagnóstico del estado nutricional de la planta. Pero es importante contar con niveles críticos de comparación de los elementos esenciales para cada especie cultivada. Como ejemplo se indica la tabla de niveles críticos para el caso de los elementos esenciales considerados óptimos para el clon de macadamia “HAES-246” en Hawái. La cual sirvió por varios años como patrón para evaluar las concentraciones promedio de elementos en las plantaciones comerciales de “HAES-246” y en el clon “HAES-660”, cultivados en suelos contrastantes en Nueva Gales del Sur en Australia. Posteriormente se definieron los patrones propios para el cultivo y las regiones en donde se cultivan.

También se recomienda y considera que además de conocer las condiciones óptimas para los diferentes elementos de una especie en particular con relación a su contenido foliar, es valioso conocer las interrelaciones entre los elementos que la planta absorbe, especialmente aquellos que hace en mayor cantidad. El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, conocido por sus siglas en inglés como DRIS, es un buen complemento en la interpretación de los análisis foliares pues permite evaluar la disponibilidad de un nutriente con respecto a los otros (Villalobos y Killorn, 2002).

Lo más común para diagnosticar el estado nutricional de la planta es la hoja o tejido foliar. Pero de acuerdo a la especie se pueden seleccionar otras partes, que pueden darnos una mejor información. Por ejemplo, en leguminosas se pueden analizar los ureidos en la savia del xilema para diagnosticar la eficiencia de la fijación simbiótica. En casos como el tomate, el análisis químico de la savia es muy valioso cuando se trata de hacer el diagnóstico. Inclusive se ha llegado a sugerir que en el caso del frijol se utilice el contenido de micronutrientes en ella para usar como guía de la disponibilidad de nutrientes y para programar las fertilizaciones de las siguientes cosechas (Villalobos y Killorn, 2002).

La edad de la hoja está relacionada con la concentración de nutrientes. Por eso un diagnóstico es válido si se utilizan el mismo tipo de hojas que las empleadas para obtener los valores de referencia. El DRIS lo desarrolló Beaufils (1971), buscando de reducir este requisito, para interpretar los análisis foliares utilizando la relación de pares de nutrientes como los valores de referencia, o sea, las normas DRIS. Las cuales son generadas de observaciones independientes obtenidas de una población de árboles altamente rendidores en cuanto a su parte útil explotada. Una norma DRIS es el valor promedio de la relación de un par de nutrientes en una población. El DRIS tiene capacidad para minimizar, pero no para eliminar el efecto de la edad de la hoja sobre el diagnóstico (Salazar-García, 2002).

La técnica del “índice de balance” fue desarrollada por Kenworthy (1961 y 1963) para frutales. El procedimiento y para su cálculo considera un valor óptimo del contenido de los nutrientes, e incluye la variación fisiológica que se presenta en una población de árboles con altos rendimientos. A diferencia del enfoque DRIS, no requiere de una gran base de datos. Esta técnica se ha utilizado con éxito en México para diagnosticar el estado nutricional del aguacate Hass. Los valores estándares y coeficientes de variación para los nutrientes se generaron de árboles con altos rendimientos, los cuales se deben ir ajustando

a medida que se tenga más información en cuanto a la producción y la calidad de la fruta, para así ir precisando los valores estándares que permitan diseñar un programa de fertilización balanceado buscando altos rendimientos en los sitios definidos (Salazar-García, 2002).

## 2.7.2. Nutrientes esenciales

Villalobos (2001), cita el concepto de elemento esencial definido por Arnon y Stout (1939) con base en tres criterios: primero, que la planta no puede completar su ciclo de vida si falta el elemento mineral; segundo, la función del elemento no la puede suplir otro, y tercero, el elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de la planta o ser requerido en algún paso metabólico.

El nitrógeno hace parte de las moléculas orgánicas que son vitales para el funcionamiento, crecimiento y productividad de las plantas. Además, hace parte de moléculas orgánicas nitrogenadas que participan en el metabolismo intermedio de las células y como precursoras de otras moléculas con funciones estructurales. Se encuentra en la estructura de la clorofila; o sea, que este elemento permite el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas. Su deficiencia provoca el lento crecimiento de la planta (Villalobos, 2001)

Las formas asimilables del nitrógeno son  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , pero sus concentraciones en los suelos son muy variables, en el espacio como en el tiempo; lo que se refleja en su limitada absorción. Una adecuada disponibilidad de nitrógeno en la planta aumenta la demanda por otros nutrientes. Después de agua, el nitrógeno es el nutriente que más limita la productividad de los cultivos en casi todos los suelos. Pocos son los lugares en donde no se tiene una respuesta positiva a fertilizantes nitrogenados, ya sean de origen orgánico o inorgánico (Ramírez, 2001).

El fósforo es fundamental en el desarrollo de las plantas, se necesita en la célula para el funcionamiento de las membranas. Además hace parte del ATP, molécula que participa en casi todos los procesos metabólicos; este elemento es necesario para la producción y transporte de azúcares, grasas y proteínas. El adecuado suministro de fósforo promueve el rápido desarrollo, el mayor tamaño de hojas y raíces. Adelanta la maduración y estimula la producción de flores, semillas y frutos (Manual básico de nutrición vegetal y suelos, Yara). Este elemento es muy móvil en la planta y, contrario a lo que sucede con un exceso de nitrógeno, el de fósforo aumenta la relación raíz parte aérea de la planta (Villalobos, 2001).

El potasio participa en cuatro aspectos importantes del metabolismo de las plantas en general. Las partes jóvenes en crecimiento como las yemas, hojas jóvenes y extremos de la raíz son ricos en  $\text{K}^+$  (Villalobos, 2001). Este elemento se encuentra en grandes cantidades en la planta; ayuda a regular el equilibrio del agua en las células y la pérdida a través de la transpiración. Incentiva el desarrollo de tallos fuertes y está relacionado con la protección de la planta a plagas y enfermedades. También aumenta la tolerancia de las plantas a las heladas y la sequía. Además, mejora el color, el sabor y la calidad en poscosecha de las frutas y hortalizas (Manual básico de nutrición vegetal y suelos, Yara).

El calcio es necesario para el crecimiento continuo de los meristemos apicales y generalmente es un constituyente de la savia vacuolar y componente importante de la

pared celular. También, está involucrado en la estimulación de la germinación del polen y del crecimiento del tubo polínico. El calcio actúa como mensajero secundario en el mecanismo de cierre y apertura de los estomas. Se ha demostrado su papel protector del deterioro poscosecha de los frutos (Villalobos, 2001).

El azufre es otro elemento esencial para la formación de proteínas, aminoácidos, algunas vitaminas y enzimas en las plantas. Los niveles bajos de este elemento en los árboles frutales provoca caída de los frutos (Manual básico de nutrición vegetal y suelos, Yara).

El magnesio es muy importante en el proceso de la fotosíntesis pues hace parte de la molécula de clorofila y es activador de la enzima rubisco. Su absorción y metabolismo está muy ligado al del fósforo (Villalobos, 2001)

El hierro es necesario para la síntesis de clorofila (Villalobos, 2001) y es crítico para el crecimiento vegetativo sano (Manual básico de nutrición vegetal y suelos, Yara).

El boro se asocia con el suavidad de frutos y tallos y con el cese del crecimiento de la raíz así como con la quebradura de pecíolos (Villalobos, 2001). Se encuentra en grandes cantidades en las hojas, puntos de crecimiento y frutos; es importante para la viabilidad del polen y para el desarrollo de flores y frutas (Manual básico de nutrición vegetal y suelos, Yara).

### 2.7.3. Relaciones de intercambio catiónico

Los cationes de mayor importancia en la nutrición de las plantas son el  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ . Si bien estos cationes se encuentran en forma hidratada, en general nos referimos a ellos como iones y su disponibilidad para las plantas no dependen solamente de lo que se encuentre en el complejo de cambio y la solución del suelo, sino de la interacción que existe entre ellos. La necesidad de la planta por ellos aumenta con la edad de ellas en el orden  $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ , a pesar de esto es raro observar una deficiencia de Ca. El problema de ello es que muchas veces en el análisis foliar se aprecian valores de suficiencia. La disponibilidad de cationes en el suelo también depende de la proporción relativa, o sea, de la cantidad de estos con respecto a los demás y/o en la capacidad del CIC o CICE del suelo, esto se da por el efecto que ejercen entre sí en el complejo de cambio o por los sitios activos de absorción de las raíces de las plantas. El mayor reservorio de  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ; es la fracción coloidal del suelo por las cargas negativas que tiene y que está constituida principalmente por las arcillas finas y la materia orgánica (Sadeghian, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, se han hecho propuestas en forma general y también para algunas especies de relaciones ideales para  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ . Estas relaciones en la práctica no son tan fáciles de lograr pues los suelos tienen diferentes tipos de afinidad por estos cationes; debido a sus diferencias mineralógicas, químicas y físicas. Para determinar la influencia de la variación de estos tres cationes en el suelo sobre la producción en muchas especies vegetales, se han hecho numerosas investigaciones, pero no se han obtenido resultados concluyentes (Sadeghian, 2012)

### 2.7.4. Investigaciones de nutrición en cactáceas

- Pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus*, Tena – Cundinamarca, Colombia

Vásquez (1992), en un cultivo de dos años y medio de desarrollo hizo una investigación con el objetivo de determinar el efecto que sobre la producción y calidad de la pitaya amarilla ejerce la fertilización edáfica, variando cinco fuentes compuestas y tres dosis de aplicación. El cultivo estaba localizado a una altitud de 1.670 msnm, en suelo franco con 15% de materia orgánica, altos contenidos de fósforo y potasio, con contenidos medios de calcio y magnesio. Las variables estudiadas fueron número de botones florales, número de flores formadas, cantidad de frutos cuajados, peso de frutos, diámetro de frutos, longitud de frutos y producción por planta. Los datos fueron registrados en dos cosechas consecutivas. Se hizo análisis de suelo y de la materia orgánica utilizada. Además, se realizaron dos análisis foliares, uno antes de iniciar los tratamientos y el segundo cuando las plantas tenían frutos, segunda cosecha.

En cuanto al número botones florales no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las fuentes utilizadas, la mejor, 18-9-19-3(S) 100 g/planta, produjo 29 botones, mientras que las fuentes 17-6-18-2 y 13-7-19, fueron los que mostraron menor respuesta con 24 botones por planta. La variable número de flores formadas tampoco mostró diferencias significativas en ninguna de las fuentes de variación analizadas, aunque todos los tratamientos mostraron valores mayores del testigo. La pérdida de botones florales observada se puede atribuir a pérdidas por mosca del botón floral o al aborto natural.

Para el número de frutos cuajados se obtuvo diferencias entre las dos cosechas que se evaluaron. En la primera se observó diferencias significativas, mientras que en la segunda cosecha no se observaron diferencias significativas. Esto último se atribuye al aumento de la producción debido a la edad del cultivo, además que para la segunda cosecha ya se tenían el efecto de cinco fertilizaciones, mientras que para la primera solo se había hecho dos. El fertilizante 18-9-19-3(S) fue con el que se obtuvo la mejor respuesta.

La producción de frutos en kilogramos por planta presentó un comportamiento similar al del número de frutos. Diferencias significativas en la primera cosecha y no diferencias en la segunda cosecha, pero los mejores resultados se obtuvieron con 18-9-19(3), 100 g/planta, con 3,4 y 6,1 kg/planta. No obstante todos los tratamientos presentaron mejores rendimientos que el testigo absoluto que produjo con 2,0 y 3,6 kg/planta.

#### ▪ **Nopal, Tuna o Chumbera, *Opuntia ficus-indica***

Ramírez, *et al* (2007), en la investigación que realizaron en cuatro especies de nopal en medio hidropónico, encontraron que el contenido de nutrientes dependen más de la madurez de estos que de la especie. La materia seca varió con la especie y el estadio de desarrollo. El mayor porcentaje de proteína cruda se encontró en los estadios más jóvenes y disminuyó con el crecimiento. El contenido de cenizas fue similar entre especies y aumentó con el crecimiento de los cladodios.

Zuñiga *et al* (2009) en la Universidad de León, México, estudiaron el nopal variedad "Jalpa". Trabajando con tres profundidades de suelo, 0-18 cm, 18-36 cm y 36-54 cm y tres dosis de fertilizantes, uno de síntesis equivalente a 100 t/ha de estiércol, los otros dos 100 y 300 t/ha de estiércol de bovinos, además un testigo. La materia orgánica tenía un contenido de N-P-K de 3,09%, 0,46% y 4,12% respectivamente. El suelo con un pH de 8,54, 1,61% de materia orgánica y 20,5-16,0 y 298 ppm de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente.

Los resultados mostraron que el 96% de las raíces se concentran entre los 0 y 18 cm de profundidad y el 3% entre los 18 y 36 centímetros. El porcentaje de enraizamiento no presentó diferencias para las profundidades de 0-18 y 18-34 cm. Los resultados coincidieron con otras investigaciones citadas por los autores en donde se emplearon diferentes dosis de nitrógeno. Se concluyó que el inicio del desarrollo radical es influenciado por las condiciones abióticas como cantidad de luz y humedad del sustrato.

El rendimiento del nopalito fue mejor con el tratamiento de 100 t/ha, seguido por los tratamientos de 300 t/ha y el fertilizante mineral, en la profundidad de 0-18 cm. Los rendimientos fueron aumentando en los tres primeros cortes, se redujeron en los cortes o cosechas cuarta a sexta y se incrementaron en los dos últimos, reducción que coincidió con la época de invierno, lo que se asumió como efecto del frío. Los altos rendimientos coinciden con otras investigaciones en donde se aumentaban las producciones cuando se hacían aplicaciones altas de estiércol.

En la materia seca los resultados fueron semejantes con los de la producción, pero se observó que la producción acumulada de nopalito presenta una proporción inversa con el desarrollo radical. Lo que coincide con otras investigaciones que utilizaron diferentes niveles de nitrógeno.

En cuanto a los contenidos minerales de tallos los nopales se observaron similares valores de nitrógeno, potasio, sodio y magnesio para todos los tratamientos. Los valores de los microelementos fueron más altos cuando se aplicó en los niveles superiores estiércol, lo cual se correlaciono con el cambio del pH del suelo por la aplicación de la materia orgánica. El contenido de fósforo fue superior en los tratamientos de 100 y 300 t/ha al compararlos con el testigo y el fertilizante mineral.

- **Pitaya roja, *Hylocereus undatus***

En Oaxaca, México, Sabino (2010) realizó investigación sobre la relación de las prácticas de manejo agronómico con la floración de la pitahaya, *Hylocereus undatus*. Encontró que la utilización de riego en épocas secas adelantó la floración de las plantas comparada con las que no tenían riego. Además, observó que la utilización de fertirriego en dosis de 3,5 y 7,0 litros por hora cada siete días aumento la cantidad de botones florales y por ende la producción; pero no hubo diferencias entre las dos dosis de fertilizante utilizados.

López y Guido, (1998) evaluaron en Nicaragua cuatro dosis de nitrógeno y tres de fósforo en pitaya roja, *Hylocereus undatus*, clon Rosa. Las dosis de nitrógeno utilizadas fueron de 0, 40, 80 y 120 kg/ha, manteniendo dosis constantes de potasio, boro, cobre, zinc y manganeso en los tratamientos. Comparadas con el testigo, las mejores dosis de nitrógeno fueron 20 y 40 kg/ha y de fósforo 20 y 40 kg/ha, para ambos casos en la primera y segunda cosecha, en la tercera todos los tratamientos presentaron resultados iguales. En cuanto a potasio, los resultados solo fueron significativos en la tercera cosecha (tercer año). Se evidencio que el tamaño, peso de fruta y grados brix no se vieron afectados por los diferentes niveles de nutrientes, no obstante, la producción de frutos se vio incrementada con la aplicación de nitrógeno y fósforo.

- 24 Documentación de las relaciones hídricas y requerimientos nutricionales de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, en tres localidades del Valle del Cauca
- 

▪ **Pitahaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* - Ecuador**

En investigación realizada en Ecuador, provincia de Pichincha, a una altitud de 240 msnm, en plantas de pitahaya amarilla con tres años de desarrollo, se probaron dos fertilizantes, DAP (18-46-00) y cloruro de potasio (0-0-60) en tres dosis, utilizando gallinaza como complemento con una dosis de 2,5 kg por planta en una sola aplicación. Los tratamientos con fertilizantes de síntesis presentaron una producción del 54,72% más alto que los correspondientes solo a materia orgánica. Los mejores tratamientos fueron 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 300 kg/ha de K<sub>2</sub>O, con los que se obtuvo mayor número de frutos, mayor diámetro de la fruta, mejor peso por fruto y mayor rendimiento por hectárea (Orrico, 2013).

### 3. Justificación

La pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus*, ha tenido una participación importante en los mercados internacionales, a causa de sus características organolépticas y propiedades nutraceuticas. La mayor limitante en la comercialización que presenta esta fruta es la estacionalidad de la producción, ya que esto impide mantener una oferta constante y lo que provoca fluctuaciones en los precios de sustentación. Se desconocen las bases fisiológicas que determinan este comportamiento, al igual que el comportamiento productivo de la especie en las diversas zonas donde se produce.

De acuerdo con la “Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la pitaya amarilla en fresco en el Valle del Cauca”, el promedio nacional de producción por año de pitaya amarilla es de 11 t/ha, pero en cultivos tecnificados se obtienen rendimientos mayores a 20 t/ha y su potencial de producción es de 30 t/ha año determinado en investigación, luego la brecha productiva supera las 9 t/ha. Esta brecha se presenta principalmente por el desconocimiento de aspectos ecofisiológicos relacionados con la nutrición, requerimientos hídricos, manejo integrado del cultivo y aspectos básicos para la producción de frutos de las plantas de pitaya amarilla (Betancourt, *et al*, 2010).

Según las estadísticas, en el 2012 Colombia tenía 882 ha sembradas con pitaya amarilla, de las cuales 107 ha se encontraban en el Valle del Cauca y corresponde al 12,1% del área nacional. En ese mismo año el rendimiento nacional promedio en Colombia fue de 9,1 toneladas por hectárea, presentando el mayor valor el departamento del Huila con 12,8 t/ha, mientras que el Valle del Cauca presentó un rendimiento de 7,8 t/ha. De acuerdo con esas mismas estadísticas en el Valle del Cauca habían sembradas 388 ha en el año 1992, lo que comparado con el área sembrada en 2012 (107 ha) indica que ha ocurrido un drástico descenso de área sembrada en el Valle del Cauca (72,4%) (Agronet). La disminución del área sembrada y del rendimiento en ese departamento se debe al desconocimiento en el manejo del cultivo y a reducciones significativas en la producción de frutos por problemas fitosanitarios e inadecuada nutrición.

El manejo tradicional del cultivo, se basa en el conocimiento empírico de los productores y las investigación desarrolladas hasta el momento han atendido algunos aspectos a nivel básico, relacionados con estudios del desarrollo reproductivo (Hernández *et al.*, 1991), modelos matemáticos para medición de área fotosintética de la planta (Clavijo *et al*, 1991) y factores hormonales que afectan la floración y el crecimiento del fruto (Potosi, 2002); pero que necesitan ser validados. Los resultados de investigación sobre aspectos ecofisiológicos disponibles están referidos a condiciones subtropicales, profundizando en los factores que influyen sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la especie.

26 Documentación de las relaciones hídricas y requerimientos nutricionales de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, en tres localidades del Valle del Cauca

---

El objetivo de la investigación es construir una primera aproximación sobre las relaciones hídricas y observar las respuestas del cultivo de la pitaya a distintas condiciones nutricionales del suelo, que permitan generar prácticas adecuadas para el manejo agronómico del cultivo.

## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Localización

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación Corpoica – C.I. Palmira, para el período de establecimiento del cultivo hasta tres años de edad. En los Municipios de Riofrío y Restrepo, el estudio se realizó sobre cultivos comerciales de tres y seis años de edad, respectivamente, que se encontraban en plena producción.

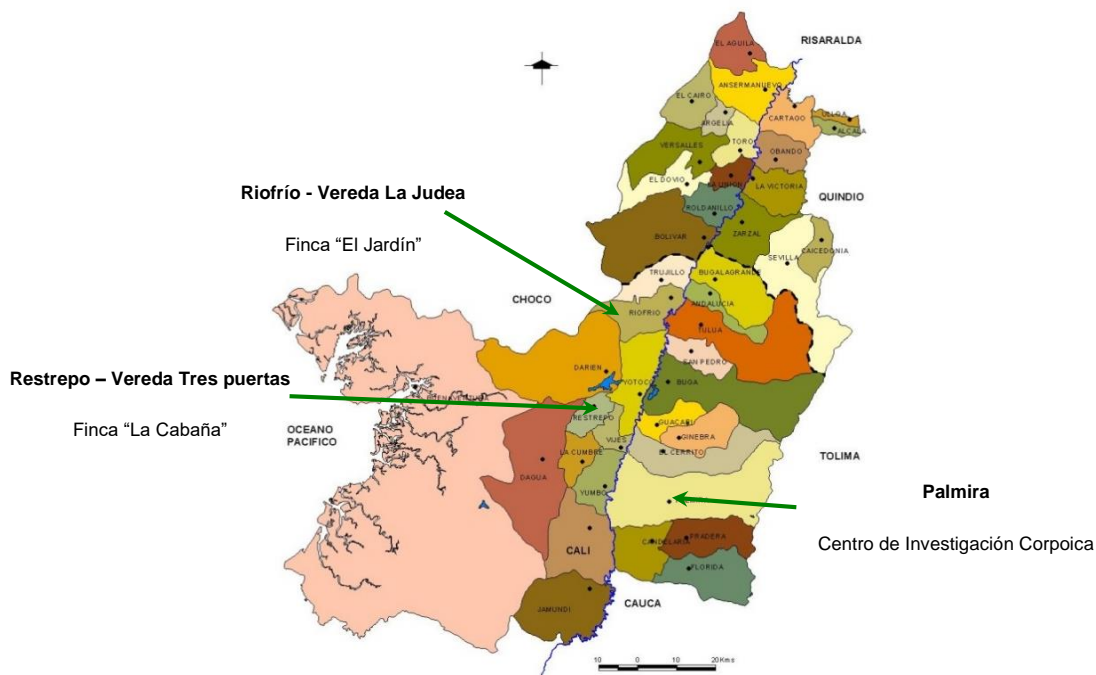
Para el seguimiento de las variables climáticas en Palmira se emplearon los registros de la estación meteorológica ubicada en el C.I. Corpoica. Para las mediciones en las localidades de Restrepo y Riofrío, se adquirieron dos estaciones meteorológicas portátiles Watchdog. Como complemento a los registros de las estaciones portátiles, se consideraron los registros históricos de las estaciones meteorológicas más cercanas. En las tres localidades se tomaron los registros climáticos del año 2009 como base para establecer correlaciones, ya que se presentó un comportamiento normal de parámetros ambientales, previo a la ola invernal que se registró en el 2010. No obstante, en este documento se describe el comportamiento climático observado para este año.

A continuación se describen las características de las tres localidades en donde se llevaron a cabo los experimentos (Figura 4-1).

- Centro de Investigación de Corpoica en el Municipio de Palmira, localizado a una altitud de 975 msnm, topografía plana y suelos de buen drenaje. Suelo Franco Arcilloso (FAR), con pH entre 6,8 y 8,0. Contenido de materia orgánica entre 3,0 y 4,0%. La precipitación tiene comportamiento histórico bimodal.
- Municipio Riofrío, vereda La Judea, finca “El Jardín”. Propietario Jorge Restrepo. Altitud 1.650 msnm. Localizada en la cordillera occidental. Topografía pendiente (20%), textura arcillosa, pH 4,9 a 6,0. Suelos de buen drenaje. Contenido de materia orgánica 2,7 a 5,6%. Se emplearon los registros climáticos de los años 2009 y 2010.
- Municipio Restrepo, vereda Tres Puertas, Finca “La Cabaña”, propiedad de Ingenieros Agrónomos Asociados S.A. Altitud 1.360 msnm. Localizada en la cordillera occidental. Topografía pendiente, textura arcillosa (Ar), pH 5,5 a 5,8. Suelos de buen drenaje. Contenido de materia orgánica entre 5,4 y 7,1%. En esta localidad se observó la tendencia bimodal de la precipitación con dos picos bien definidos.

En la tabla 4-1 se presenta la información de la ubicación de las localidades donde se establecieron los ensayos.

**Figura 4-1.** Ubicación geográfica en el Departamento del Valle del Cauca, Colombia, de las localidades en donde se desarrolló la investigación.



**Tabla 4-1.** Localización e información general de los tres Municipios de ejecución del proyecto

Municipio	Palmira	Restrepo	Riofrío
Coordenadas	03° 30' 51,90" N 76° 18' 50,90" W	03° 47' 40,80"N 76°30' 37,32"W	04° 05' 45,60"N 76° 22' 47,22"W
Altitud (msnm)	995	1.490	1.626
Densidad (Número plantas/lote)	600	744	675
Fecha de siembra	Abril 2009	Octubre 2003	Noviembre 2005

**Figura 4-2.** Lote de pitaya en el C.I. Palmira en el establecimiento.



**Figura 4-3.** Cultivo en "La Cabaña" Restrepo, Valle del Cauca. Estructura de soporte en "A".



**Figura 4-4.** Cultivo "El Jardín". Riofrío, Valle del Cauca. Estructura espaldera simple.



## 4.2. Determinación del comportamiento productivo de la pitaya amarilla

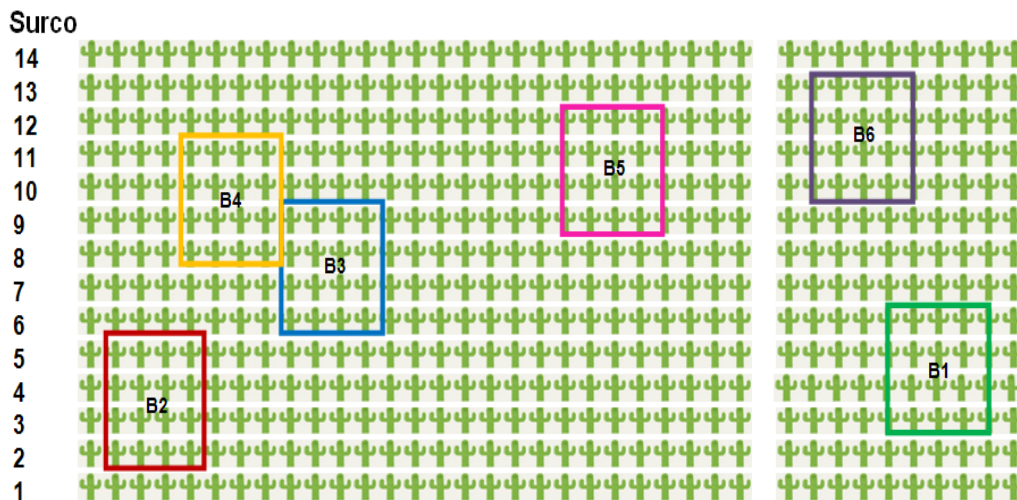
En las tres zonas de estudio, se evaluó la intensidad de floración, el porcentaje de abscisión de flores, cuajado de frutos y las variables macro estructurales de crecimiento del fruto (diámetro, peso fresco y peso seco).

Para la determinación del comportamiento productivo, una vez se dio inicio al periodo reproductivo, se seleccionaron veinte plantas y alrededor de cada planta cinco tallos productivos. Luego se contabilizó el número inicial de brotes florales formados, el número de estructuras reproductivas que caen semanalmente y el número de ellas que finalmente cuajaron a fruto. Con la información generada, se determinó la intensidad de floración de la planta, el porcentaje de abscisión de flores y cuajado de frutos.

El seguimiento a las variables de crecimiento del fruto se llevó a cabo semanalmente desde anthesis hasta cosecha, determinando el peso fresco, peso seco y diámetro ecuatorial.

En la figura 4-5 se presenta la distribución de los bloques seleccionados para la evaluación de las variables de crecimiento en el lote del C.I. – Palmira.

**Figura 4-5.** Distribución de bloques en cultivo de plantas de pitaya amarilla para el ensayo. C.I. Palmira de Corpoica



### 4.2.1. Variables evaluadas durante la fase inicial del crecimiento vegetativo del cultivo

En el cultivo establecido en el Centro de investigación de Corpoica - Palmira, se llevó a cabo el registro del tiempo transcurrido entre la altura inicial del cladodio al momento de la siembra y hasta cuando este alcanzaba 1,80 metros de alto en la zona terminal de la estructura definitiva. Una vez las plantas alcanzaron esta altura, se podaron en la zona

apical del tallo principal con el fin de promover el crecimiento lateral de ramas productivas. A partir de este momento y semanalmente, se hizo un conteo del número de brotes generados, midiendo la longitud de cada brote desde la base hasta la zona apical del mismo. Cada mes, desde el momento de la poda de la zona terminal del tallo principal, se realizaron muestreos destructivos en tres plantas, con el fin de evaluar variables de crecimiento macroestructurales (peso fresco, peso seco, área fotosintetizante).

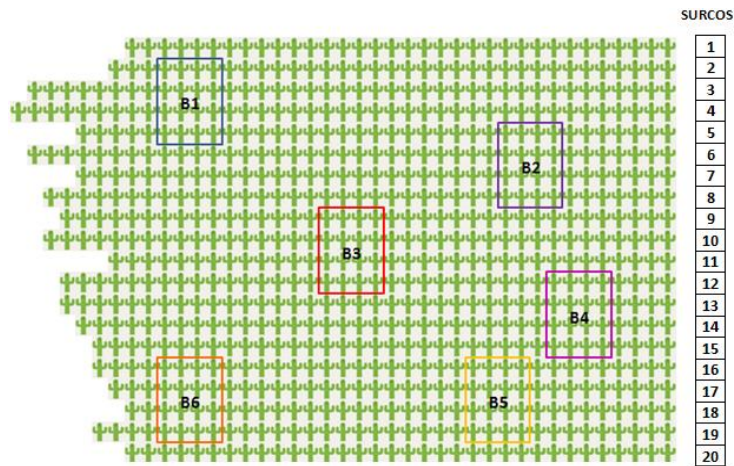
#### 4.2.2. Variables evaluadas durante la fase reproductiva del cultivo

En las localidades de Restrepo y Riofrío, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, tomando como unidad experimental 16 plantas y como unidad de muestreo ocho plantas (Figura 4-3 y 4-4).

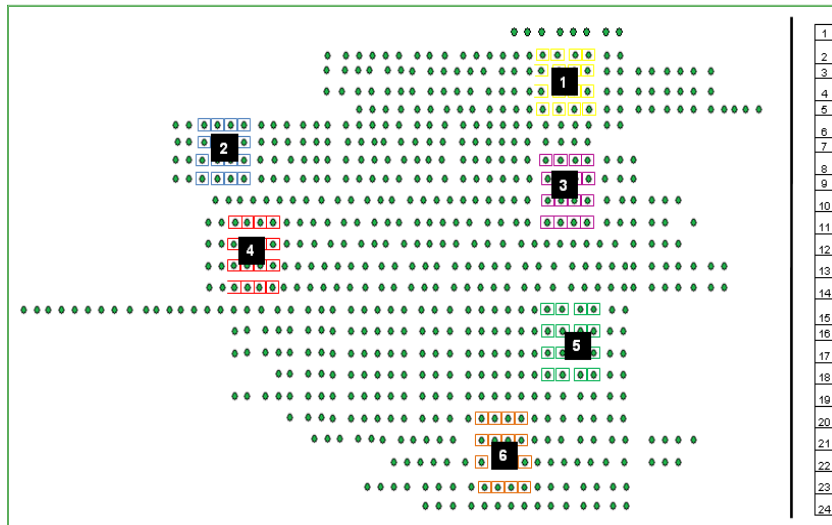
En las localidades de Restrepo y Riofrío, se evaluó la intensidad de floración, el porcentaje de abscisión de flores, el cuajado de frutos, así como las variables macroestructurales de crecimiento del fruto (diámetro, peso fresco y peso seco). En Palmira se registró el número de nuevos brotes, desde el establecimiento de las plantas en vivero. Los demás parámetros fueron evaluados una vez se inició la formación de estructuras reproductivas.

En Restrepo y Riofrío, para la determinación del intensidad de floración y de la abscisión, una vez se dio inicio al periodo reproductivo, se seleccionaron veinte plantas y alrededor de cada planta cinco tallos productivos. Posteriormente se contabilizó el número inicial de brotes florales formados, el número de estructuras reproductivas que caen semanalmente y el número de ellas que finalmente cuajan a fruto. Con la información generada, se determinó el intensidad de floración de la planta y el porcentaje de abscisión y cuajado.

**Figura 4-6.** Distribución de bloques completos al azar. Finca La Cabaña - Restrepo (Valle del Cauca)



**Figura 4-7:** Distribución de bloques completos al azar. Finca El Jardín Riofrío (Valle del Cauca)



### 4.3. Determinación de algunas relaciones hídricas

En los cultivos establecidos en los municipios de Palmira, Riofrío y Restrepo, se determinó el contenido volumétrico de agua en el suelo y el movimiento de agua en la planta, durante la época seca y de lluvias. Al mismo tiempo se monitoreo el periodo de sequía como condición de estrés que podría inducir la floración. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, tomando como unidad experimental cuatro plantas y como unidad de muestreo una planta. Se ubicaron tres sensores de humedad del suelo unidos a un registrador de datos SL5 Smart Logger (ICT Internacional) a tres profundidades (0 a 15, 15 a 30 y 30 a 45 cm). En el tallo principal y en la rama que sostiene el fruto se determinó la velocidad de movimiento del flujo de savia con un HRM SabFlow conectado al SL5 Smart Logger (ICT Internacional), los cuales se correlacionaron con los registros climáticos de la estación climática portátil.

Se relacionó la evolución de los periodos secos con la intensidad de floración de la planta para relacionar el comportamiento diario del contenido de humedad del suelo. La calibración de equipos contempla el registro de parámetros de humedad del suelo y de movimiento de agua en la planta previo a su utilización en campo. Teniendo en cuenta que los equipos se han venido utilizando en otras especies como cítricos y aguacate, se consideraron las mediciones hechas en las mismas como etapa de calibración de los sensores. Los sensores venían presentando ciertos fallos en su funcionamiento y después de reportarlo a la firma encargada de distribuirlos, se tomaron los correspondientes correctivos. Esto asegura que los registros que se tomaron como etapa de calibración, son confiables.

### 4.3.1. Apertura estomática

#### ▪ Toma de improntas

Como complemento a los estudios del flujo del agua dentro de la planta se realizaron observaciones de los estomas de la pitaya amarilla en el lote 15 del Centro de Investigación de Corpoica en Palmira y en la finca La Cabaña en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Para esto se tomaron improntas de la epidermis de los cladodios, utilizando esmalte y cinta transparente; el esmalte se aplicó sobre la superficie y se extendió unos dos centímetros, dejándolo secar más o menos un minuto (Figura 4-8)

**Figura 4-8.** Aplicación del esmalte sobre el cladodio (Foto J.A. Medina S)



Posteriormente se puso sobre el esmalte la cinta transparente, se presionó la superficie levemente con la yema del dedo, levantando la cinta por uno de los extremos y colocando sobre un portaobjeto marcado previamente para su identificación, posteriormente se guardó el portaobjeto con la impronta para su posterior observación. (Figura 4-9 y 4-10).

Para tomar las improntas se escogieron cladodios que estuvieran expuestos directamente al sol y otros que estuvieran ubicados dentro de la planta, es decir, aquellos que no recibían directamente la luz solar. Las improntas se tomaron cada hora iniciando a las 5:30 horas terminando a las 15:30 horas. En cada toma de improntas se escogieron cinco plantas al azar, es decir, cinco plantas por cada hora.

**Figura 4-9.** Puesta de la cinta sobre el esmalte para tomar la impronta de la epidermis (Foto J.A. Medina S)



**Figura 4-10.** Portaobjetos con la impronta (Foto J.A. Medina S)



▪ **Medición de la radiación solar**

Al momento de hacer la impronta se registraban los datos de radiación solar, en el exterior de la planta y dentro de ella, con el equipo Data Logger LI-COR LI-1000 (Figura 4-11)

**Figura 4-11.** Equipo Data Logger Li-COR LI-1000, empleado para estimar la radiación solar (Foto J.A. Medina S)



Para medir la radiación, se ubicaron los dos sensores al pie de la planta, el sensor exterior o Sensor lineal LI-191SA se pone en el extremo de un listón el cual queda totalmente expuesto (Figura 4-12). Para medir la radiación en la parte interna de la planta, se utiliza la barra cuántica Sensor lineal LI-191SA (Figura 4-13), con la cual se efectúan dos lecturas, una ubicando la barra en el sentido este-oeste y la otra en el sentido norte-sur (Figura 4-14).

**Figura 4-12.** Dispositivo del Sensor 1 o Canal 1 LI 190SA para medir la radiación externa (Foto J.A. Medina S)



**Figura 4-13.** Barra cuántica Sensor lineal LI-191SA con la que se midió la radiación en el interior de la planta (Foto J.A. Medina S)



**Figura 4-14.** Medición de la radiación que llega a los cladodios en el interior de la planta (Foto J.A. Medina S)



▪ **Medición y conteo de estomas por microscopía de luz (óptica)**

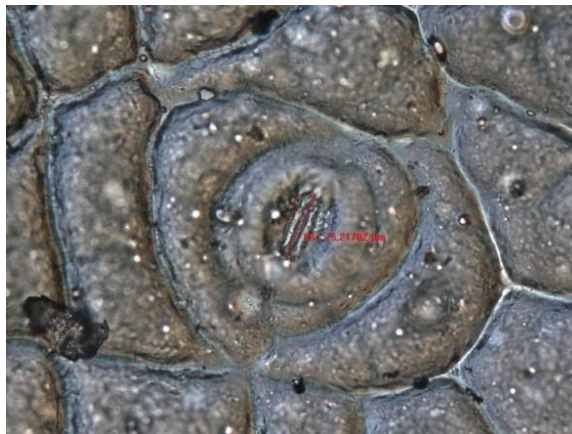
Para llevar a cabo la observación de las improntas y el cálculo de la densidad estomática se utilizó un microscopio de luz Nikon Eclipse 80i, dotado con cámara fotográfica y con salida a pantalla de 14", el software utilizado para tomar las medidas es el "Image-pro Versión 4.0 Media Cybernetics" que se encuentra en el laboratorio de microscopía de la Universidad del Cauca. Para las mediciones se utilizó el lente 40X y para el cálculo de la densidad estomática se utilizó el lente 4X (Figura 4-15).

**Figura 4-15.** Microscopio de luz Nikon Eclipse 80i. En el monitor esta la imagen del estoma que se está midiendo (Foto J.A. Medina S)

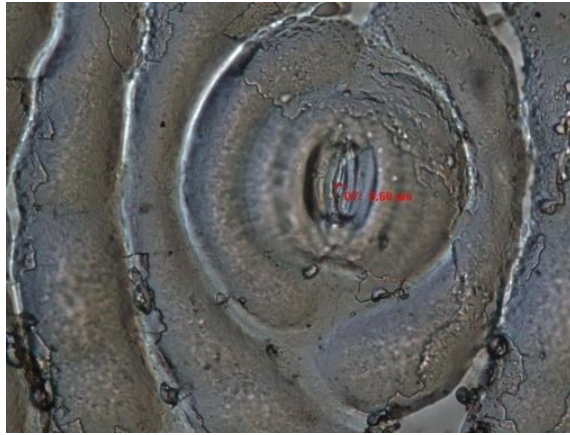


Luego de tomadas las fotografías con la cámara del microscopio, estas se grababan digitalmente. El software se calibra de acuerdo al lente utilizado (4X o 40X). Se ubica el cursor en el sitio que se considere como inicio y se lleva al otro extremo para realizar la medición (Figura 4-16). El programa envía los datos a un archivo de Excel previamente identificado, el cual tiene identificadas las celdas para los valores que arrojen las diferentes medidas, que fueron: largo y ancho de las células guardas, ancho total de las células guardas y el ancho interno de estas o sea el ancho del ostiolo o apertura (Figura 4-17). Estas medidas se dan en micras y se convierten a milímetros.

**Figura 4-16.** Medida del largo de un estoma cerrado (40X) (Foto J.A. Medina S)

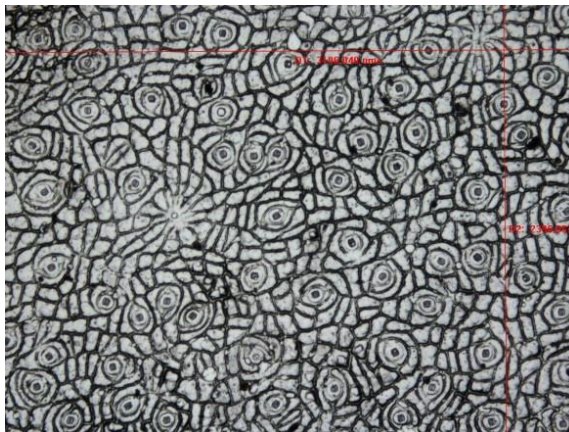


**Figura 4-17.** Medición de la apertura del ostiolo (Foto J.A. Medina S)



Para determinar la densidad estomática, se miden en micras los lados de un rectángulo que contiene la impresión de los estomas. Con esos datos se calculó el área (lado x lado) en micras cuadradas y luego se convirtió a milímetros cuadrados. Posteriormente se realizó el conteo de estomas sobre la imagen en el computador. El número de estomas contado en el área determinada, se convirtió a número de estomas por milímetro cuadrado (Figura 4-18).

**Figura 4-18.** Medidas del área en micras de la toma con el lente 4X (Foto J.A. Medina S)



En el microscopio se tomaron al azar cinco fotografías por cada impronta, para un total de 25 lecturas por cada hora. Para determinar si el número de lecturas por hora era el adecuado, se utilizó el modelo estadístico empleado para determinar el tamaño de muestra sugerido por el profesor de diseño estadístico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Diosdado Baena García; en el cual se tienen en cuenta las horas críticas para hacer la cuantificación. A continuación se ilustra el Andeva empleado en el modelo estadístico citado. Donde  $E\%$  es el porcentaje de error permisible, que no debe ser mayor del 10% de la media general. Diferencia entre la media muestral y la media verdadera expresada como porcentaje de la media verdadera, que no exista una diferencia mayor del 10%.

**Andeva**

F.V.	Grados de libertad
Entre placas	4
Entre estomas/placa	20
Total (c)	24
Media general	
CV (%)	

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2}$$

$$n = \frac{t^2 CV\%}{E^2\%} = \frac{2(CV\%)^2}{(10\%)^2}$$

t : Tratamientos  
S<sup>2</sup>: Desviación estándar  
E<sup>2</sup>: Error cuadrado

$$\frac{|x_m - u|}{U} \times 100 \leq E\% = 10\%$$

u: media verdadera

Al desarrollar la ecuación se observó un E = 5%, lo que indicó que el número improntas y lecturas eran confiables y permitían obtener datos precisos.

#### 4.4. Determinación de requerimientos nutricionales

Para el análisis químico de suelos, se tomaron muestras del suelo al inicio de la investigación a tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), representativas del área total de siembra del cultivo. A estas muestras se les realizó análisis químico completo (Anexos A, B y C). Solo al inicio del primer año de los experimentos se tomaron muestras para análisis hidrofísico, de lagunas propiedades físicas del suelo el cual incluye porosidad, textura, densidad aparente y real.

Durante la fase reproductiva del cultivo, desde floración hasta cosecha, se tomaron muestras representativas de tejido de los tallos de la planta. Cada muestra de tejido fue sometida a análisis químico para determinar el contenido de los elementos N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y B (Anexos D, E y F).

Todos los análisis fueron realizados en el laboratorio de química y física de suelos del Centro de Investigación Tibaitatá de Corpoica en Mosquera (Cundinamarca).



## **5. Resultados y discusión**

### **5.1. Determinación del comportamiento productivo**

La pitaya amarilla es una cactácea que evolucionó en las selvas del piedemonte andino-amazónico con precipitaciones anuales altas. Debido a esa condición su tipo de desarrollo se considera hemiepífita, por lo que se aprecia en los diferentes cultivos por experiencia del autor los diferentes factores climáticos influyen en su desarrollo. A continuación se hace el análisis de la influencia del comportamiento del clima en los estados fenológicos de la planta en las tres localidades del departamento del Valle del Cauca. Esta zona geográfica tanto en el valle geográfico del río Cauca como en la zona montañosa históricamente han presentado un comportamiento bimodal en las precipitaciones.

#### **5.1.1. Comportamiento climatológico**

El trabajo se realizó durante los años 2009 y 2010. En Palmira para complementar las observaciones realizadas se aprovechó que en el Centro de Investigación de Corpoica se encuentra una estación meteorológica del Ideam que proporcionó los datos climatológicos diarios de cada año. En Riofrío, se recurrió a los registros climáticos de la estación meteorológica Manuel M. Mallarino de Cenicafe localizada en el municipio de Trujillo estación más cercana al sitio experimental. En Restrepo se utilizaron los registros climáticos de la estación Julio Fernández de Cenicafe localizada en Restrepo. Para Riofrío y Restrepo no fue posible utilizar en forma permanente la estación portátil pues se debió compartir con otros proyectos debido a las limitaciones de tipo logístico.

#### **• Condiciones climáticas de Palmira**

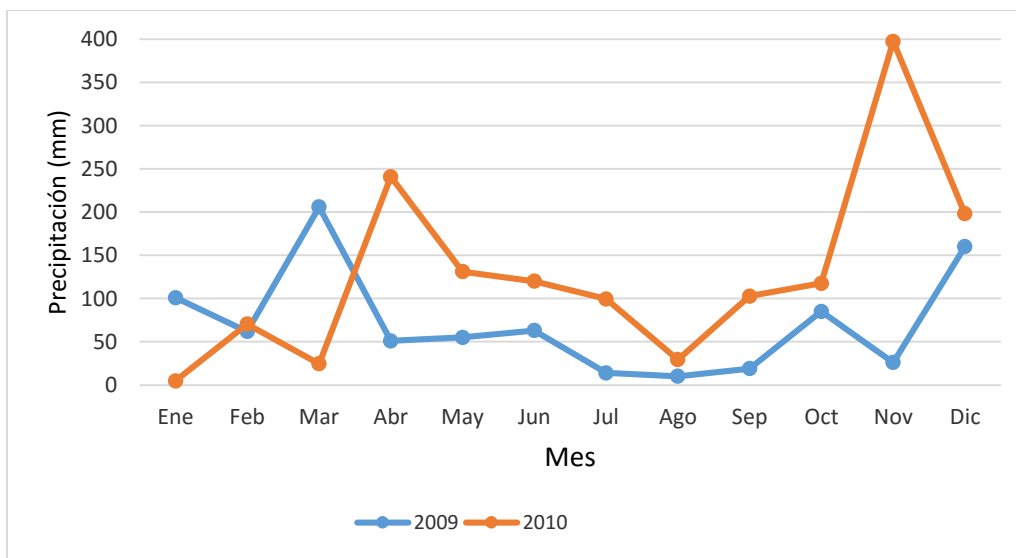
En la figura 5-1 se puede observar el comportamiento bimodal de la precipitación en el año 2009, con un primer pico que llega a su máximo, 206 mm, en abril y un segundo pico en el segundo semestre donde se tuvieron precipitaciones en octubre de 85 mm y un máximo en diciembre con 160 mm. El total acumulado para este año fue de 852 mm. A lo largo del año se presentan otros picos con menor precipitación, pero que pueden determinar el comportamiento productivo de la pitaya. En este sentido, para el año 2009 se presentaron floraciones poco homogéneas que condujeron a escasas producciones. Estas floraciones correspondieron a las del primer año del cultivo cuando se han sembrado cladodios de más de un metro de altura, por lo que es normal que vayan aumentando en cantidad hasta los cuatro o cinco años, cuando se estabiliza la producción del cultivo.

Por ejemplo, en el mes de febrero de 2009, se registraron 68 flores en el lote experimental, lo que corresponde más a una respuesta fisiológica de los cladodios ya maduros escogidos como semilla asexual, que a un inicio de producción. Porque corresponde a menos del 1% de las plantas, o sea, es una proporción de una flor por cada 11 plantas; mientras que en el mes de octubre de 2009 ocurrió la primera floración en donde se registraron 305 flores en el lote. Esta floración se presentó en la segunda quincena del mes de octubre y fue precedida de un período con tendencia seco porque entre el 22 de septiembre y el 10 de octubre no se presentaron precipitaciones; entre el 11 y el 18 de octubre cayeron 37 mm y con un promedio de brillo solar de 3,1 horas.

Para el 2010 se presentaron precipitaciones todos los meses y ocurrió un incremento en la precipitación con un total anual de 1.537 mm con relación a los 851 mm del 2009. Se observaron dos picos de precipitación, el primero en el mes de abril con 241 mm, y el segundo en el mes de noviembre con 398 mm. Las precipitaciones mensuales se mantuvieron entre 100 y 130 mm entre los meses de mayo y octubre, con una reducción solo en el mes de agosto de 29 mm.

Al comparar el comportamiento de la precipitación de los años 2009 y 2010, se observa un desplazamiento de los picos de máxima precipitación y un incremento significativo de la precipitación a partir del mes de abril (Figura 5-1).

**Figura 5-1.** Precipitación mensual para el año 2009 y 2010. Tomada de la estación meteorológica del C.I. Palmira.

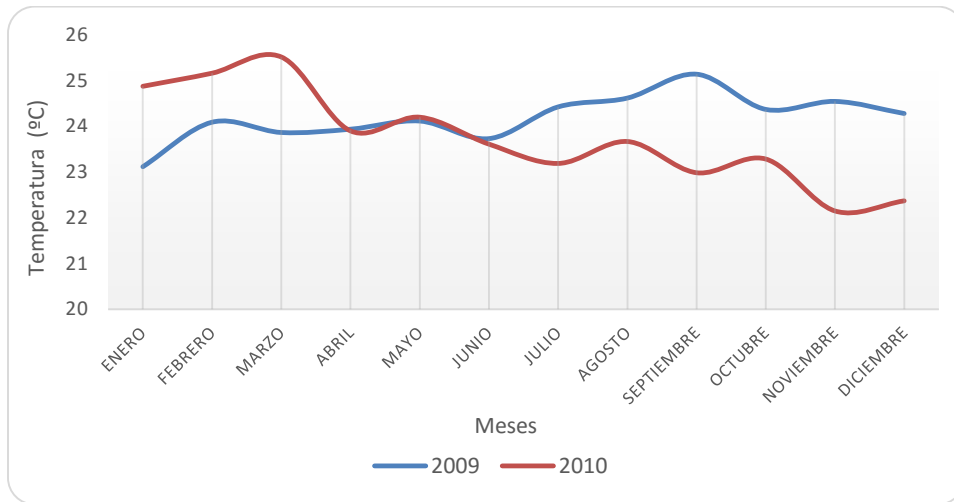


Por lo anterior se puede evidenciar el efecto de la precipitación y por consiguiente del régimen de humedad del suelo en la emisión de flores de la pitaya amarilla.

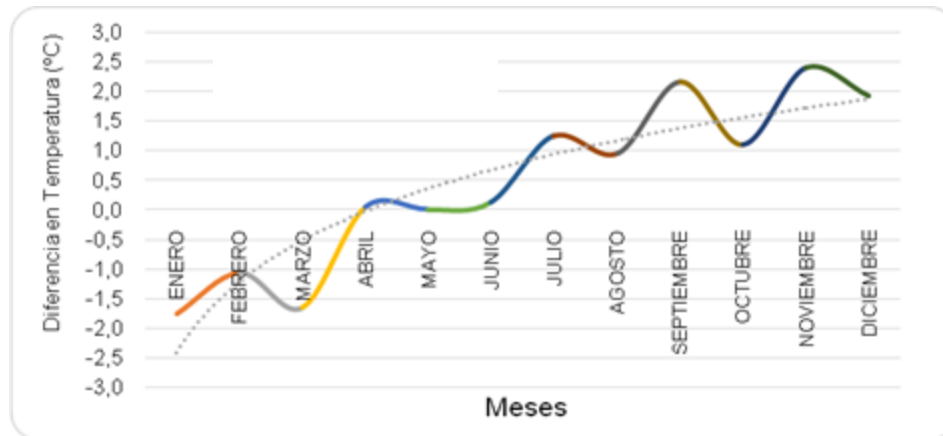
Con relación a la temperatura media de los años 2009 y 2010 se puede ver su comportamiento en la figura 5-2. Se observa que para el año 2009, el rango de variación fue entre 23,1°C, en enero y 25,1°C para septiembre. En general la tendencia de ese año fue a aumentar la temperatura media. Para el año 2010, se presentó un comportamiento casi que contrario al 2009, o sea disminución, pues se pasó de un valor máximo de 25,5°C en marzo a un valor mínimo 22,2°C en noviembre. También se presentan variaciones en

el comportamiento de la temperatura media, donde se resalta que el rango de variación se mantuvo entre 22,5 y 24,5°C. En el año 2010 el mes más frío fue noviembre y correspondió al mes más lluvioso con 398 mm y menor número de horas luz en promedio, 2,7 horas de brillo solar. Al considerar la diferencia en temperatura media entre los dos años en estudio, se registran diferencias mayores a 2,5°C en el mes de enero de 2010. Desde el mes de abril hasta junio no se registran diferencias y a partir de este mes se incrementan hasta alcanzar nuevamente en el mes de diciembre 2,5°C de mayor valor para el año 2009 (Figura 5-3).

**Figura 5-2.** Temperatura media mensual para el año 2009 y 2010. Estación meteorológica del C.I. Palmira.



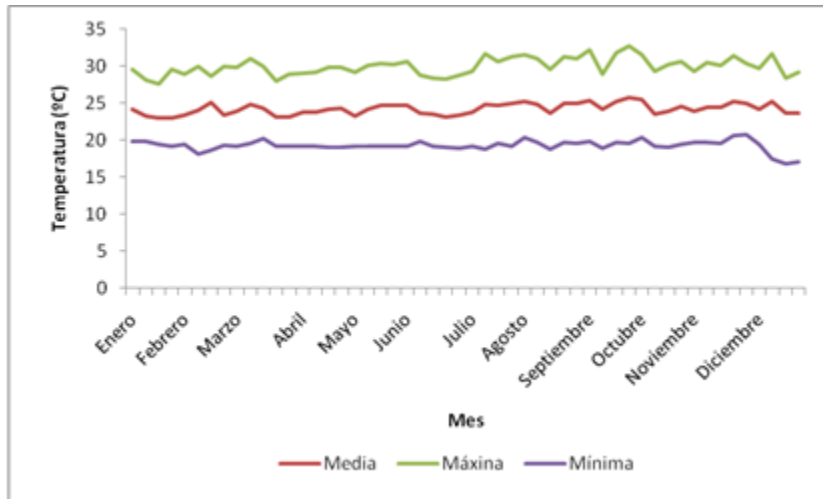
**Figura 5-3.** Diferencias en temperatura media mensual entre el año 2009 y 2010. Registros tomados de la estación meteorológica del C.I. Palmira.



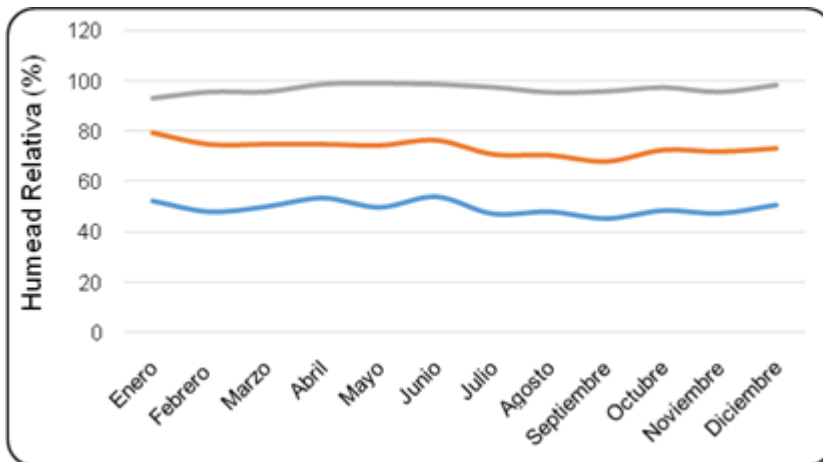
Teniendo en cuenta que se trata de una planta de metabolismo de asimilación de carbono CAM, que lleva a cabo el intercambio de gases en la noche, posiblemente las altas temperaturas nocturnas cercanas a 20°C (Figura 5-4) incidieron sobre una mayor actividad metabólica y mayor intercambio de CO<sub>2</sub>. Bajo condiciones de Palmira es necesario

asegurar el suministro adecuado de agua en los meses secos como junio, julio y agosto. La humedad realtiva promedio mensual se mantuvo entre el 67 y el 80% (Figura 5-5)

**Figura 5-4.** Temperatura máxima, media y mínima mensual. Estación meteorológica del C.I. Palmira para el año 2009.



**Figura 5-5.** Humedad relativa máxima, media y mínima mensual, tomada de la estación meteorológica del C.I. Palmira para el año 2009.

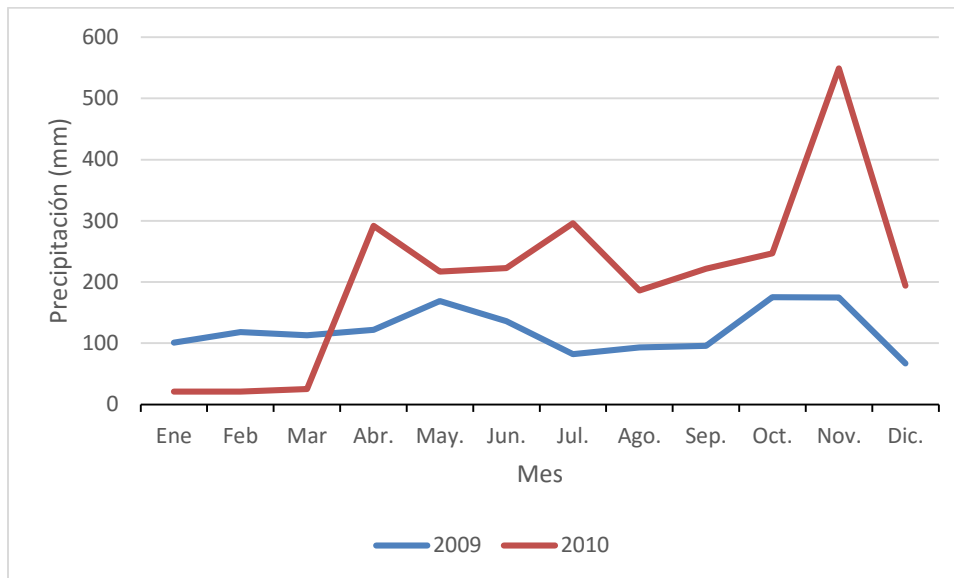


### 5.1.2. Condiciones climáticas de Riofrío

A diferencia de Palmira, como se aprecia en la figura 5-6, para el 2009 en Riofrío se presenta un pico de precipitación en el mes de mayo con 169 mm, disminuyendo en julio, hasta llegar a 82 mm. A partir de septiembre se incrementan las precipitaciones, alcanzando el segundo pico en los meses de octubre con 175 mm y noviembre con 175 mm y descendiendo en el mes de diciembre con 67 mm. La figura 5-6 muestra que para el segundo semestre de 2010, se presentó un aumento en las lluvias, observándose un pico de precipitación de 549 mm en noviembre. Para el periodo julio a diciembre en los años

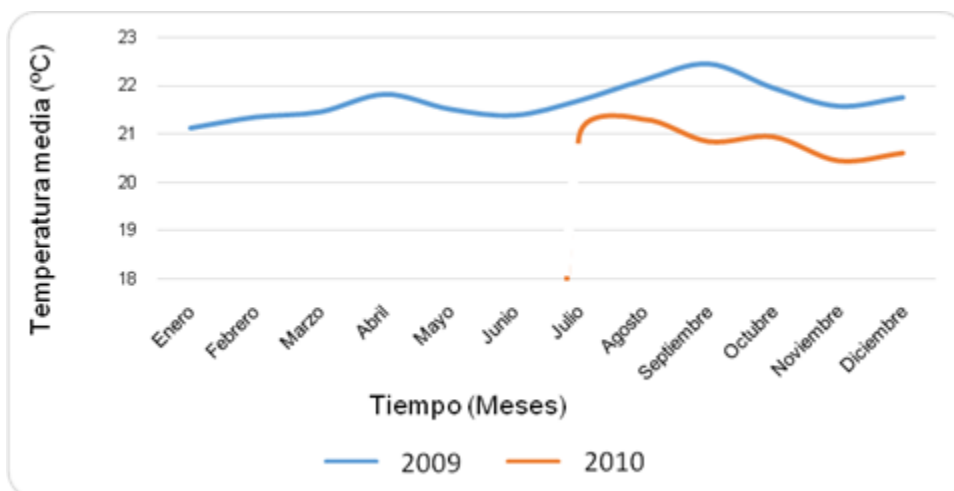
2009 y 2010, se presentó un aumento en la precipitación de 1.006 mm, al ocurrir precipitaciones de 688 mm para el 2009 y 1.694 mm para el 2010. El año 2009 tuvo una precipitación total de 1.447 mm; en el 2010 la precipitación total fue de 2.491 mm, históricamente en Colombia este año fue uno de los más lluviosos en cuarenta años, lo cual fue coincidente con lo observado en este estudio.

**Figura 5-6.** Precipitación mensual para el año 2009, tomada de la estación meteorológica Manuel M. Mallarino de Trujillo – Valle del Cauca.



La figura 5-7 muestra que la temperatura media presentó un comportamiento estable durante todo el año, con valores entre 21°C y 23°C, mientras que la temperatura mínima llegó a 17°C y la máxima a 25 °C (Figura 5-8).

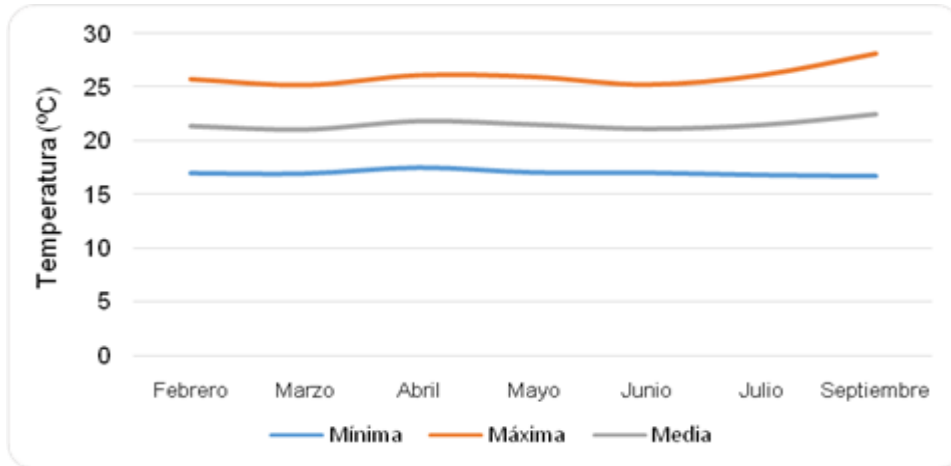
**Figura 5-7.** Temperatura media mensual para los años 2009 y 2010. Estación meteorológica Manuel M. Mallarino de Trujillo – Valle del Cauca.



En el año 2009, se tuvo una cosecha en los meses de marzo y septiembre, coincidiendo con los dos picos de lluvias; Las floraciones se dieron en los meses de noviembre de

2008 y abril del 2009, este último no coincide con el pico de lluvias. En el 2010 fueron en mayo y noviembre.

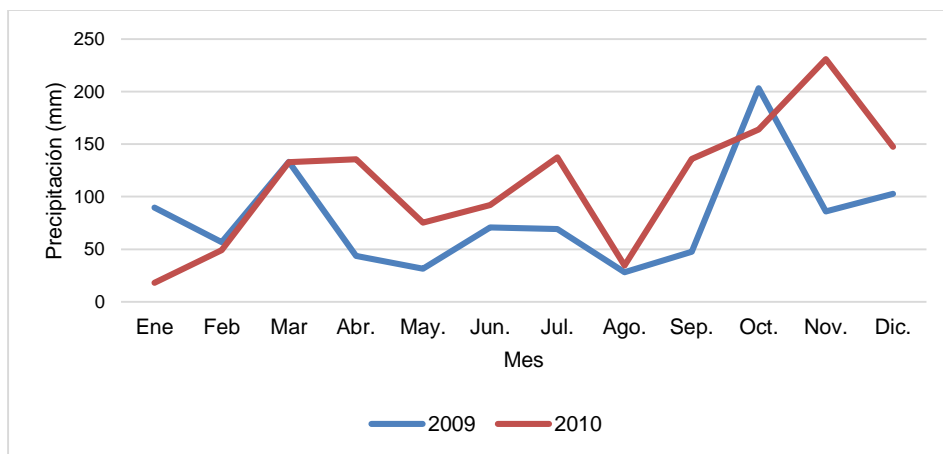
**Figura 5-8.** Temperaturas máximas medias y mínimas para el año 2009, tomada de la estación meteorológica de Trujillo – Valle del Cauca



### 5.1.3. Condiciones climáticas de Restrepo

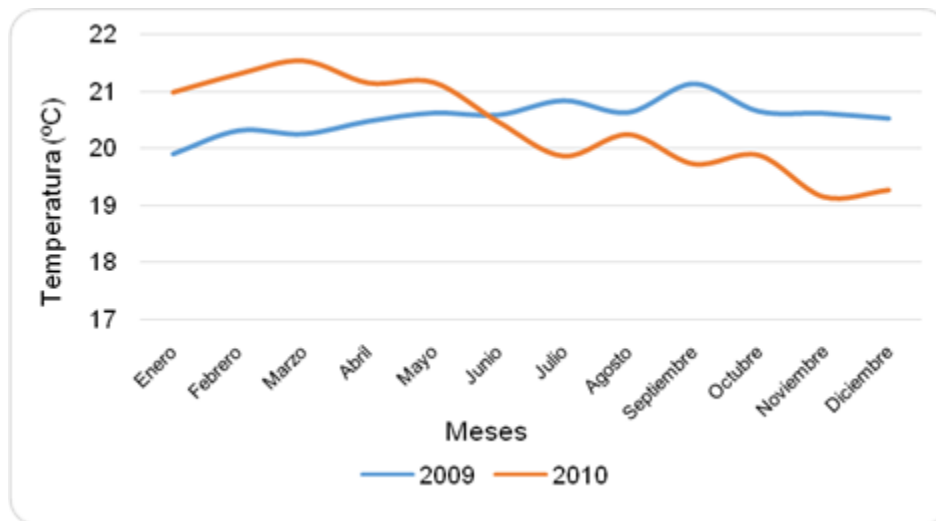
Se observó la tendencia bimodal de la precipitación con dos picos bien definidos durante el año 2009, el primer pico máximo ocurrió en el mes de marzo con 133 mm y el segundo en el mes de octubre con 203 mm, como se aprecia en la figura 5-9. Para el 2010, se presentan tres picos, el primero se presentó en marzo con 133 mm y abril con 136 mm, el segundo pico en el mes de julio con 138 mm y el tercero en noviembre con 231 mm. El total acumulado de precipitación anual para el 2009 fue de 962 mm y para el 2010 de 1.354 mm. El segundo semestre de 2010 fue más lluvioso que el del 2009, con una diferencia de 314 mm.

**Figura 5-9.** Precipitación mensual para los años 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca.



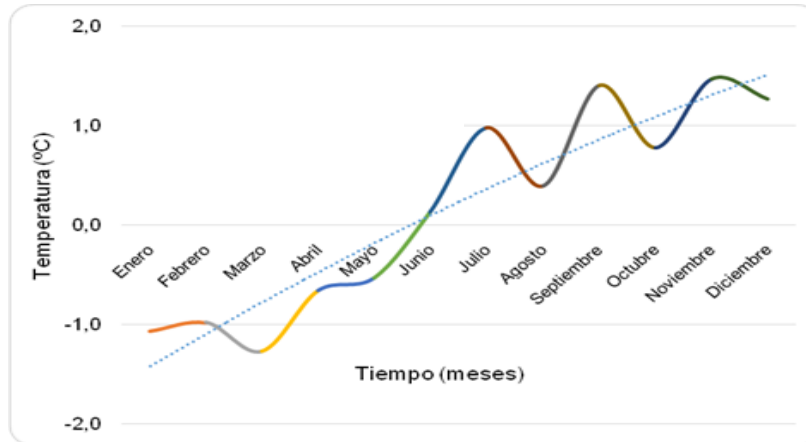
Las variaciones encontradas en la precipitación para los dos años referenciados, conducen a variaciones en el comportamiento de la temperatura media. En la figura 5-10, se aprecia que la temperatura media ocurrió en el rango entre 19 y 21°C. Al considerar la diferencia en temperatura entre los dos años en estudio, se registran diferencias que llegan a alcanzar 1,3°C en el mes de marzo, siendo mayor en el año de 2010. El cambio en las temperatura media es menor en el 2009 y mas evidente en el 2010, pues en marzo pasa los 21°C, llegando a los 19°C en noviembre. En el mes de junio no se registran diferencias y a partir de este mes se incrementan hasta alcanzar nuevamente en el mes de noviembre 1,5°C, mayor para el año de 2009. (Figura 5-11).

**Figura 5-10.** Temperatura media mensual para el año 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca.



En la finca La Cabaña se tuvo dos cosechas en el año 2009, en los meses de marzo y octubre; para el año 2010 las cosechas fueron en los meses de marzo y agosto. Las respectivas floraciones se presentaron noviembre de 2008, mayo y noviembre de 2009 y junio de 2010. La floración de noviembre se da a pesar que octubre fue el mes con la segunda precipitación del año, 164 mm; pero octubre y noviembre fueron unos de los meses del 2010 con menor promedio de brillo solar (horas luz) 3,0 y 2,4 horas.

**Figura 5-11.** Diferencias en temperatura media mensual entre el año 2009 y 2010. Estación meteorológica Julio Fernández, Restrepo – Valle del Cauca.



## Intensidad de floración y variables de crecimiento del fruto

### 5.1.4. Palmira

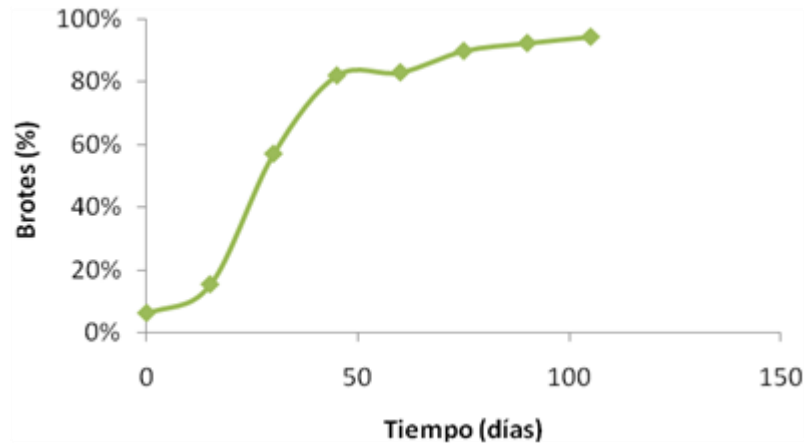
Se llevó a cabo el registro de los brotes vegetativos iniciales en las plantas sembradas en el propagador. El primer conteo se tomó como tiempo cero y con los datos registrados se calculó el porcentaje de brotes utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de brotes} = \frac{\text{No. De brotes en cada período} \times 100}{\text{No. De brotes totales}}$$

Además del porcentaje de brotación, se realizó quincenalmente el conteo y medición de la longitud de los brotes vegetativos para evaluar el comportamiento del crecimiento de los brotes a través del tiempo empleando una curva de crecimiento. Se partió de brotes que en el tiempo cero (0) presentaran entre 0,1 y 1,0 cm de longitud. Se utilizaron ese tipo de brotes, por ser los de menor longitud los que permiten obtener mayor cantidad de datos experimentales durante el periodo de crecimiento del brote.

Se obtuvo un porcentaje de brotación de 15,3% a los 20 días de sembradas las plantas en el propagador (DDSP). Posteriormente a los 35 días el porcentaje de brotes aumento al 57,0% y a los 40 días al 82%. Cuarenta días después del trasplante de las plantas a bolsas plásticas se obtuvo tres brotes en promedio. En la última fecha de muestreo cuando las plantas aún crecían en bolsas plásticas, 120 días, solo se presentó un aumento del 1% de brotes, momento en el cual la formación de brotes tiende estabilizarse (Figura 5-12).

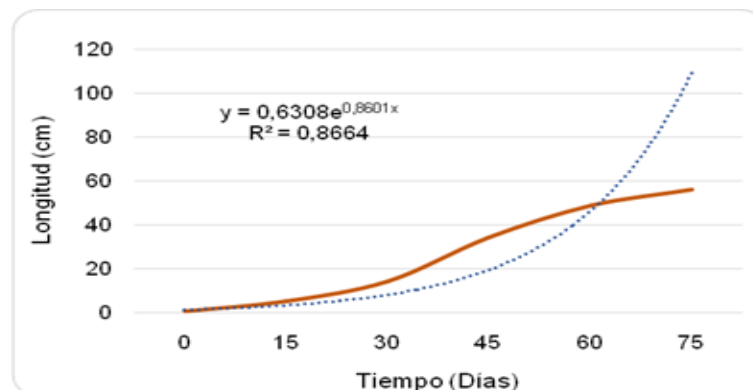
**Figura 5-12.** Porcentaje de brotes vegetativos acumulado en plantas de pitaya amarilla sembradas en bolsas plásticas. C. I. Palmira.



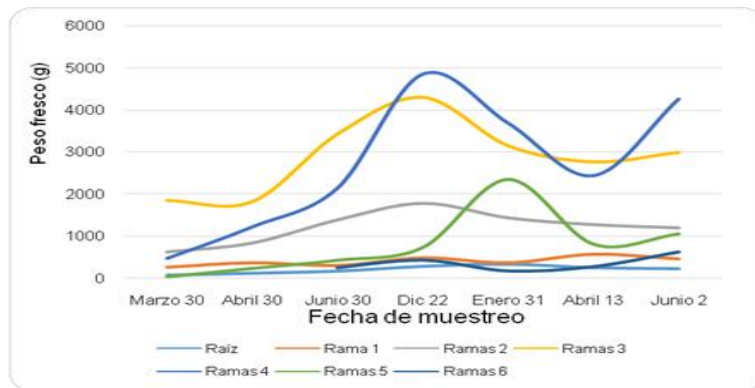
La figura 5-13 muestra la curva de crecimiento de brotes vegetativos, desde el momento de su aparición hasta los 75 días de crecimiento en el propagador, cuando alcanzaron una longitud de 56 cm. La línea de tendencia que explica esa evolución del crecimiento es una ecuación de tipo exponencial,  $y=0,6309e^{0,8601x}$  con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,86. El tiempo de permanencia de las plantas en el propagador fue de dos meses (60 días). Desde su establecimiento en campo hasta que alcanzaron 1,80 m de largo para ser ubicadas en las estructuras de soporte definitivas transcurrieron tres meses más (90 días). Para un total cinco meses, 150 días, entre siembra en vivero y la obtención de plantas de 1,80 m de largo.

Después de establecido el cultivo en la localidad de Palmira y una vez las plantas alcanzaron una altura de 1,80 m., se evaluó la evolución del contenido en materia seca de la planta, como un indicador del intercambio de  $CO_2$ . Al considerar el aumento en peso fresco (figura 5-14) y seco (figura 5-15), se observó que las ramas terciarias con una longitud de 140 cm y cuartas con 100 cm, presentaron los mayores valores. Con el avance en el estado de desarrollo, se notó la misma tendencia en la evolución de estas dos variables. Se presentó un mayor número de frutos en las ramas terceras y cuartas en donde se concentra el mayor número de frutos como se presenta en la figura 5-16.

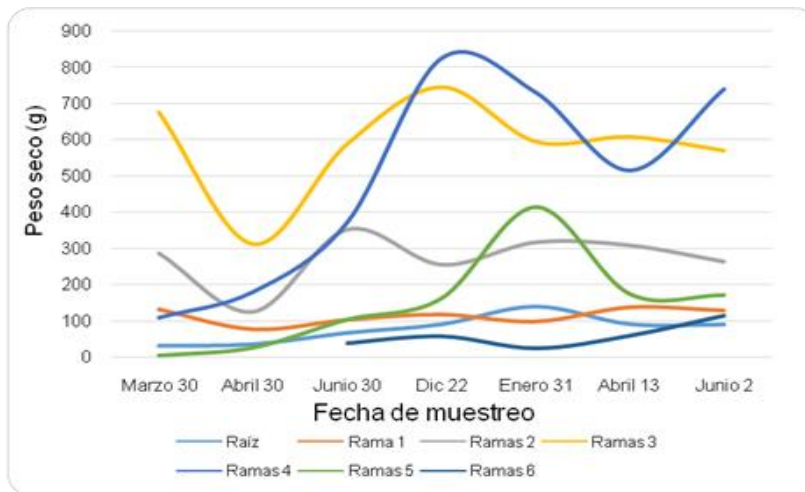
**Figura 5-13.** Evolución del crecimiento de brotes vegetativos de plantas de pitaya amarilla establecidas en el propagador.



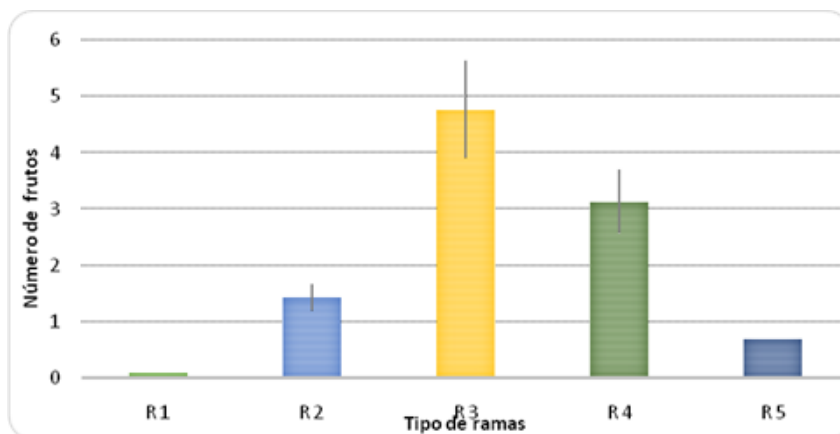
**Figura 5-14.** Ganancia en peso fresco y seco de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.



**Figura 5-15.** Porcentaje de materia seca y materia fresca de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.

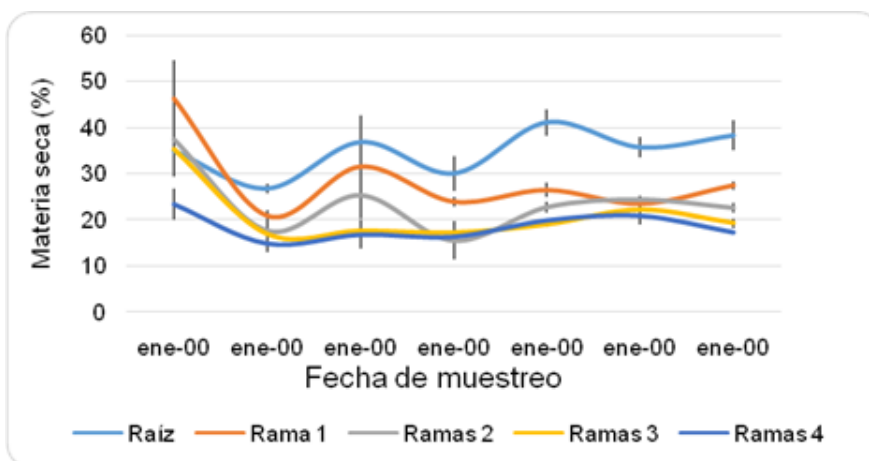


**Figura 5-16.** Número de frutos por rama de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.



La raíz presentó un mayor porcentaje de materia seca como órgano demandante de carbohidratos para su crecimiento y desarrollo al compararse con las ramas (Figura 5-17). La pitaya amarilla presenta un sistema de raíces bien desarrollado, alcanzando en profundidad hasta 30 cm y un diámetro hasta 80 cm (Figura 5-18). Del mismo modo se verifica que la dinámica en la acumulación de materia seca en las ramas se prioriza y presenta de acuerdo al estado de desarrollo, iniciando por la rama principal o primaria, a partir de la cual se generan los brotes que darán origen a las ramas segundas, de estas las terceras y así sucesivamente hasta completar la arquitectura de la planta (Figura 5-17)

**Figura 5-17.** Porcentaje de materia seca en raíz y tipos de ramas de plantas de pitaya amarilla muestreadas en la localidad de Palmira.



**Figura 5-18.** Desarrollo del sistema de raíces de plantas de pitaya amarilla. Localidad de Palmira (Fotos Jorge A. Medina S)

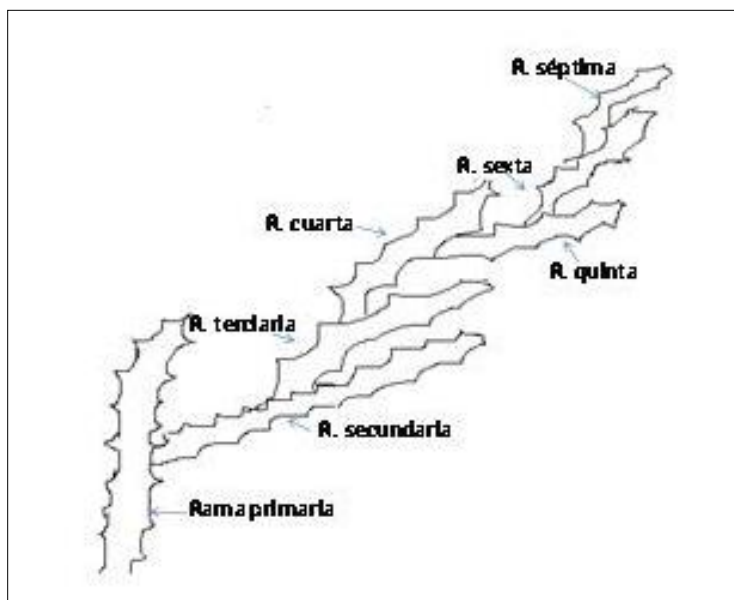


### 5.1.5. Localidades de Restrepo y Riofrío

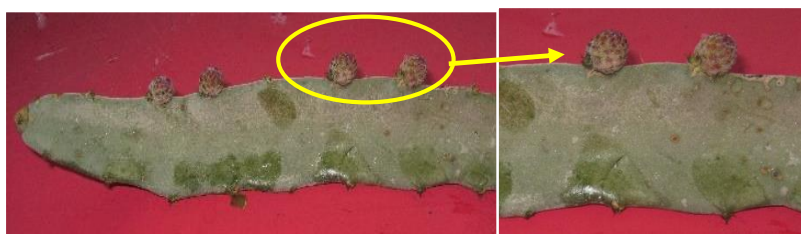
En los cultivos de Riofrío y Restrepo, sobre las plantas seleccionadas inicialmente en cada cultivo, se determinó la longitud de las ramas y el número de areolas o zonas de crecimiento como posibles generadoras de brotes. Se construyó el esquema de la

arquitectura de la planta para entender la distribución de las ramas (Figura 5-19) y se observó el detalle de las areolas en donde se originan los brotes reproductivos o vegetativos (Figura 5-20).

**Figura 5-19.** Distribución de los cladodios de una planta de pitaya (Construcción: Nubia Labrador)

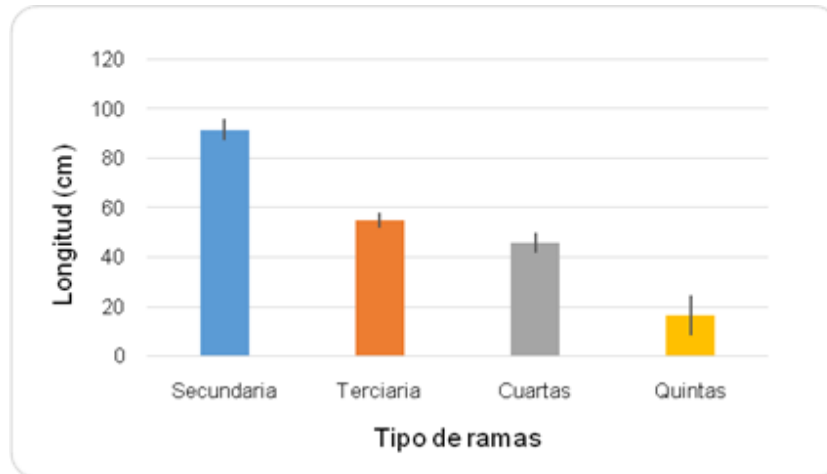


**Figura 5-20.** Arquitectura de una planta de pitaya y detalle de zonas de crecimiento que generan brotes reproductivos (Fotos: Nubia Labrador)

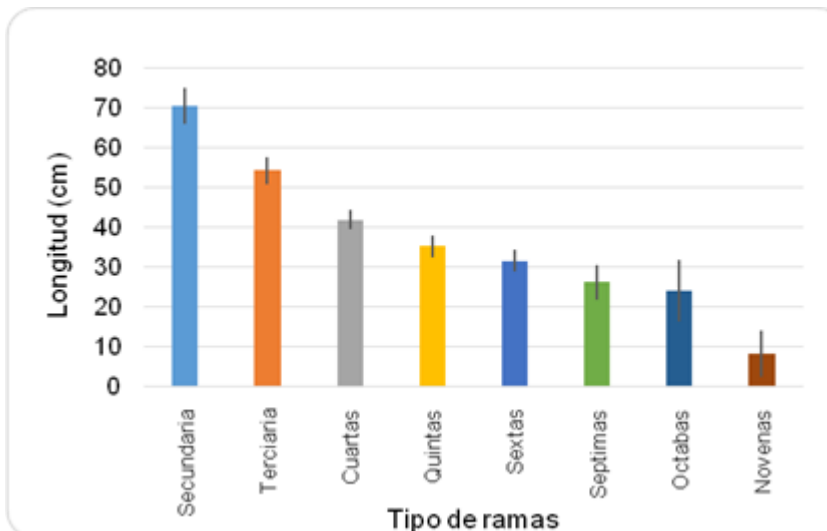


Definida la arquitectura de la planta y una vez identificados los tipos de ramas que se pueden encontrar en ella, se observó una relación entre el número de ramas y la edad del cultivo. Para el caso de Riofrío en un cultivo de tres años de edad, se encuentran hasta ramas quintas, mientras que en Restrepo en cultivo de siete años de edad se pueden encontrar hasta ramas novenas. Se observó la longitud que alcanzan los distintos tipos de cladodios, esta determinación se hizo con el fin de establecer el grado de asociación que puede existir entre este parámetro y el potencial productivo de cada rama, a través de la identificación del número de areolas o zonas de crecimiento con posibilidad de generar brotes tanto vegetativos como reproductivos (Figuras 5-21 y 5-22).

**Figura 5-21.** Longitud de los tipos de ramas en plantas de pitaya amarilla en los cultivos de Riofrío con tres años de edad.

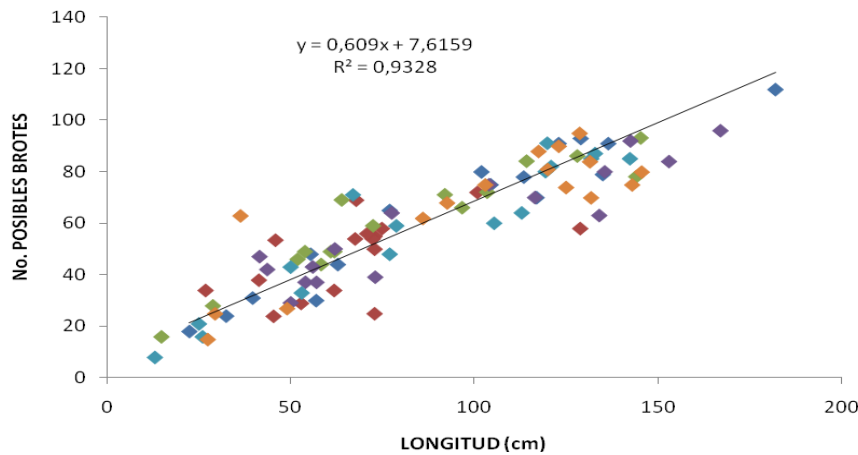


**Figura 5-22.** Longitud de los tipos de ramas en plantas de pitaya amarilla en los cultivos de Restrepo con siete años de edad.

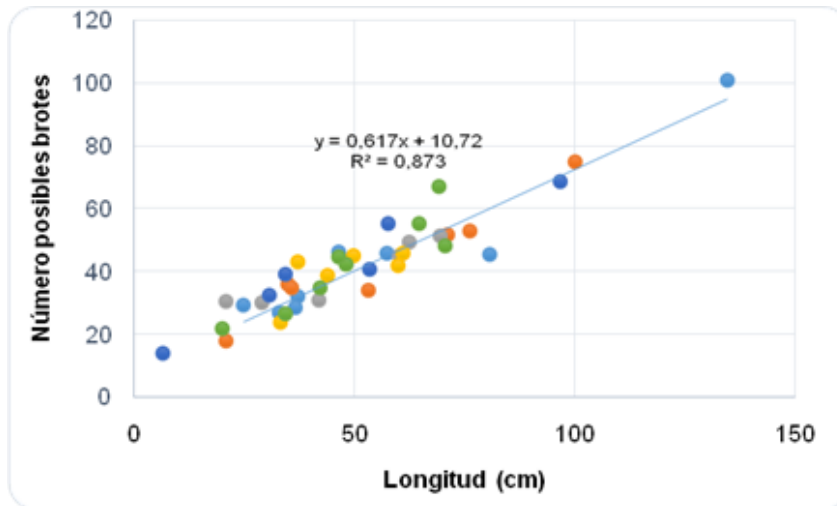


Analizando el grado de asociación de las variables longitud de cladodios segundos y terceros con el número de areolas o zonas de crecimiento con posibles brotes, se obtuvo una relación lineal entre estas variables con un coeficiente de correlación de 0,93 para ramas secundarias,  $y=0,609x+7,6159$ , y 0,87 para ramas terciarias,  $y=0,617x+10,72$  (Figuras 5-23 y 5-24). Estas dos figuras también muestran el coeficiente de determinación  $R^2$ , corresponde al porcentaje de variación de Y: número de posibles brotes, con respecto a la longitud de ramas secundarias y terciarias. El modelo explica el 81% de la variación encontrada en la relación de cladodios secundarios y el 87% en los cladodios terceros. Lo que permite concluir que entre mayor sea la longitud de los cladodios se van a encontrar mayor número de posibles brotes vegetativos o reproductivos.

**Figura 5-23.** Correlación entre longitud de ramas segundas y número de posibles brotes. Finca “El Jardín” (Riofrío).



**Figura 5-24.** Correlación entre longitud de ramas terceras y número de posibles brotes. Finca “El Jardín” (Riofrío).

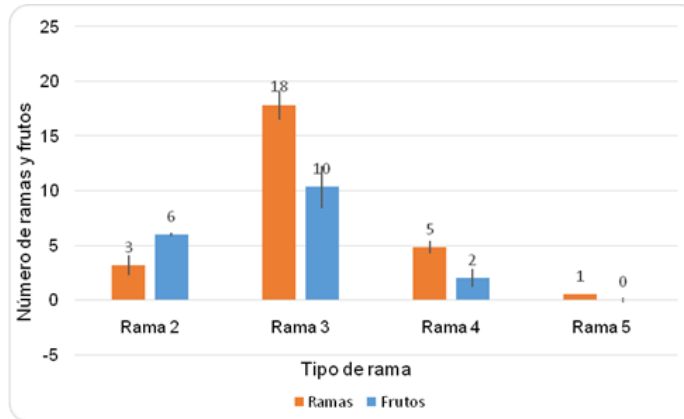


Una vez identificado el número de ramas por planta y el número de ellas potencialmente productivas, se identificaron aquellas en donde se concentra la cosecha. En la figura 5-25 se observó para el año 2009 mayor cantidad de cladodios productivos en cultivos que ya han estabilizado su producción, como es el caso de Riofrío, cultivo de tres años de edad. La cosecha se concentra en cladodios terceros con un promedio de diez frutos. Los cladodios segundos presentan un promedio seis de frutos y en los cuartos de dos. No se encontraron frutos en cladodios quintos, posiblemente debido a que se encuentran en pleno periodo de crecimiento y el gasto nutricional está siendo utilizado en crecimiento vegetativo.

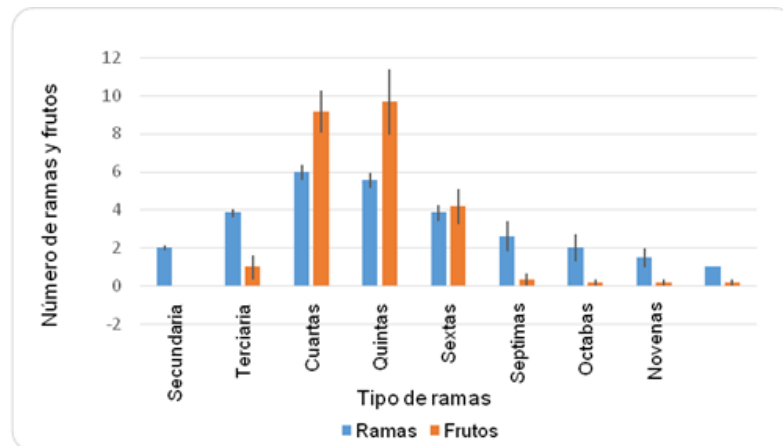
En Restrepo para 2009, en un cultivo de siete años de edad, las plantas presentaron hasta cladodios décimos, siendo los cuartos y quintos en donde se concentra el mayor número de frutos con nueve y diez respectivamente (Figura 5-26). Los cladodios sextos también

representan un aporte importante a la cosecha, pero no lo hacen entre los séptimos y los décimos.

**Figura 5-25.** Potencial productivo de plantas de pitaya amarilla de tres años en el cultivo de Riofrío para el año 2009.



**Figura 5-26.** Potencial productivo de plantas de pitaya amarilla de siete años, ubicadas en Restrepo para el año 2009.

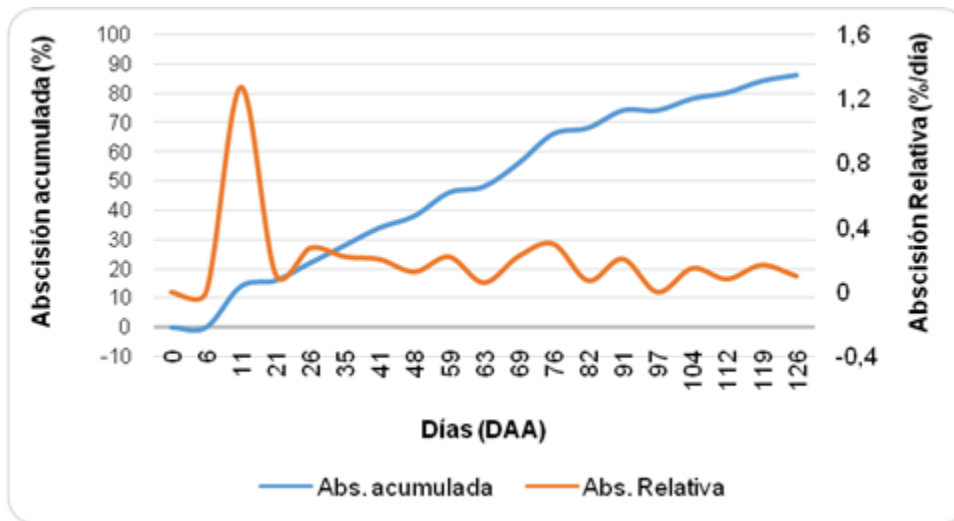


Por su parte, el comportamiento del ciclo productivo de la pitaya amarilla registrado para el segundo semestre del 2010, período que presentó variaciones climáticas; se describe a continuación.

En Palmira, se llevó a cabo el registro de la emisión de botones florales y la evolución en la abscisión hasta el momento de la antesis. Se contabilizaron 50 botones florales por planta con un porcentaje de cuajado del 14%, lo que indica que solo llegaron a cosecha siete frutos por planta (Figura 5-27). Al considerar la abscisión relativa, que relaciona la dinámica de caída diaria de estructuras reproductivas, se observa que el mayor aporte a la abscisión se presentó hasta el día doce, cuando el botón floral presentó un diámetro de 1,2 cm, con una caída diaria de 1,4%. No se encontró correlación entre los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación; con la abscisión de flores y frutos. La variación climática observada en todas las zonas de ejecución posiblemente provocó daños físicos por bajas temperaturas o por el incremento en la precipitación, que se

reflejaron en una caída excesiva de estructuras reproductivas. Pero que no necesariamente puede estar relacionada con un desbalance hormonal y nutricional interno que sea la causa de la abscisión reportada, el cual es el soporte teórico para explicar la abscisión natural desde el punto de vista fisiológico.

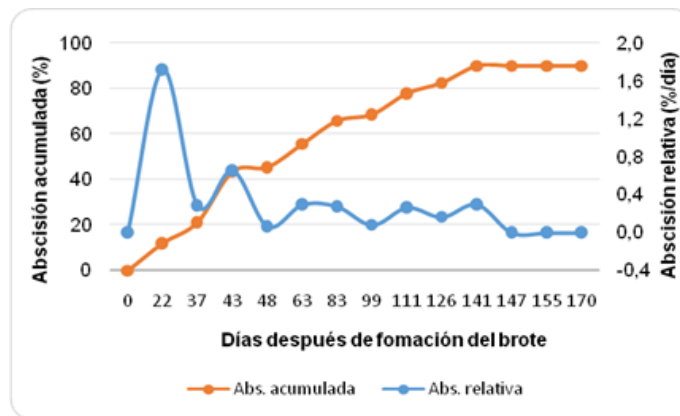
**Figura 5-27.** Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo establecido en el C.I. Palmira.



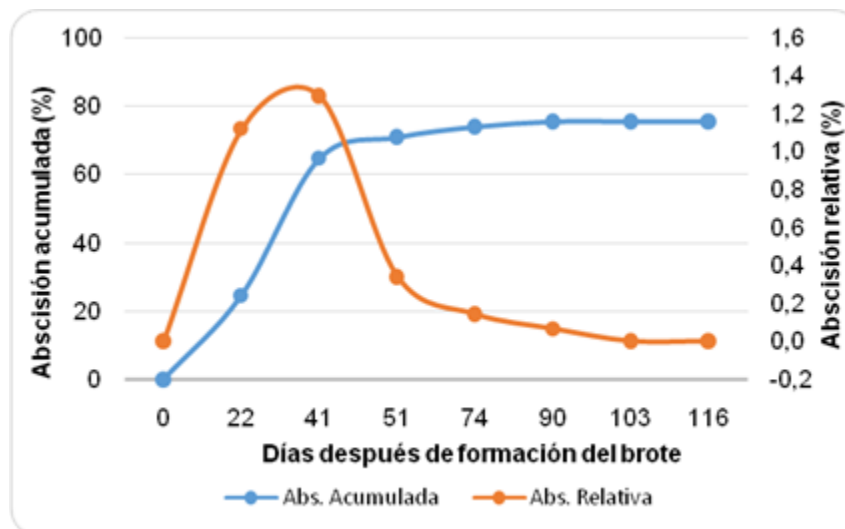
En condiciones ambientales de Restrepo, se registraron varios picos de abscisión, pero el principal aporte a esa variable se presentó a los 22 días después de la aparición del botón floral, con un promedio de caída diaria de 1,8% (Figura 5-28). La abscisión se presenta, aunque en menor proporción, de manera continua hasta el día 147 después de la aparición del botón floral. Se observó un porcentaje de cuajado de 10%, indicando que solo llegaron a cosecha 10 frutos por planta.

En condiciones ambientales de Riofrío, la abscisión se detuvo a los 103 días después de la aparición del botón floral, aunque el crecimiento del fruto se extendió hasta 160 días. Al igual que en las localidades de Palmira y Restrepo, el mayor aporte a la abscisión lo representó la caída de botones florales, alcanzado un pico máximo a los 41 días con 1,4% por día. El porcentaje de cuajado para esta localidad fue de 25%, lo que lo que equivale a un total de nueve frutos por planta (Figura 5-29).

**Figura 5-28.** Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo comercial de siete años de edad en el municipio de Restrepo.



**Figura 5-29.** Abscisión acumulada y relativa de estructuras reproductivas (Flores y frutos) en plantas de pitaya amarilla ubicadas en un cultivo comercial de 3 años de edad en el municipio de Riofrío.



En cuanto a las etapas fenológicas y en especial para la reproducción del cultivo de la pitaya amarilla, se observó que normalmente tiene dos cosechas en el año. La etapa de Botón – Floración – Antesis – Desarrollo del fruto – Cosecha, presentó una duración de 118 días en Palmira y 145 días en Restrepo y Riofrío. Después de la cosecha se presentó un periodo de reposo, de dos a cuatro semanas, antes de la nueva emisión de brotes reproductivos (Tabla 5-2).

**Tabla 5-1.** Distribución anual de las etapas fenológicas del cultivo de pitaya amarilla para el año 2010.

Etapa del cultivo	Mes											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Vegetativo	■				■	■				■	■	
Botones florales		■	■	■			■	■	■			
Antesis				■	■	■			■	■	■	
Llenado de frutos	■	■			■	■	■	■			■	■
Cosecha			■	■	■				■	■	■	

#### 5.1.6. Crecimiento y desarrollo del fruto

El paso del estado vegetativo al reproductivo se presenta con la aparición de los primeros botones florales. Los nuevos brotes, ya sean vegetativos o reproductivos, se forman en las areolas de crecimiento que se encuentran dispuestas en las aristas de los cladodios o pencas de la pitaya. Cada areola presenta entre dos y tres espinas (Figura 5-30), una de ellas, la que queda sola y en dirección contraria al ápice, se utiliza para identificar la polaridad del cladodio al momento de la siembra para el establecimiento del semillero o cultivo.

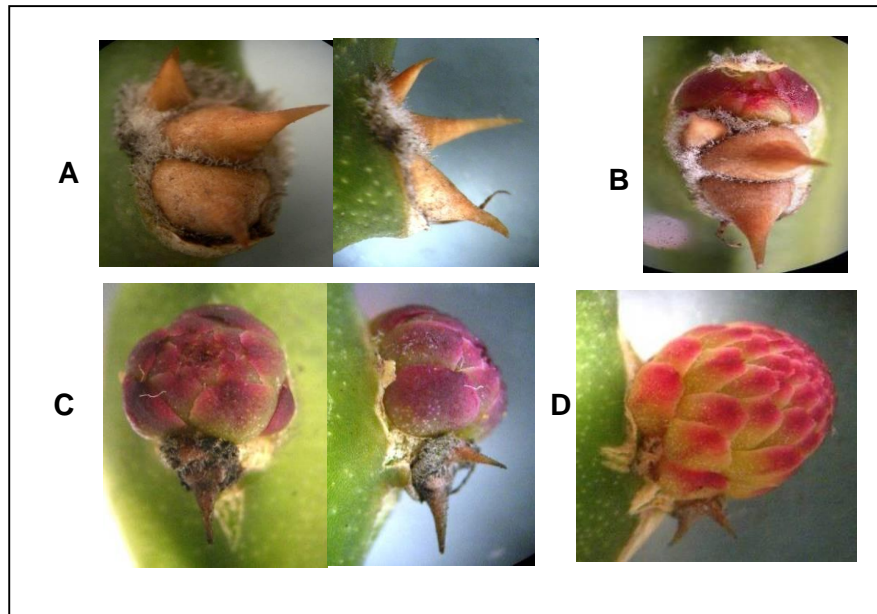
**Figura 5-30.** Areolas y espinas de pitaya amarilla (Fotos: Alexander Rebolledo Roa).



El desarrollo del nuevo brote inicia con la formación de un abultamiento en la parte superior de la areola, tomando como referencia las espinas; en la pitaya amarilla cultivada en Colombia en la mayoría de los casos las espinas que están en la areola son tres, dos de ellas tienen dirección hacia el ápice del cladodio y una se encuentra en dirección contraria, esta en la práctica se utiliza para definir la polaridad del cladodio, o sea, que la espina sola nos indica el extremo del cladodio que se debe poner en el sustrato o suelo para que emita

raíces. 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. El brote continúa su crecimiento con la formación de múltiples brácteas aplanadas, dando una apariencia globosa (Figura 5-31).

**Figura 5-31.** Estados de desarrollo inicial del brote reproductivo. (A) Diferenciación de espinas y areolas, día 0. (B) Formación de abultamiento en zona superior de areola, día 4. (C y D) Desarrollo del brote reproductivo hasta 10 días (Fotos: Alexander Rebolledo Roa).



En Palmira, a 995 msnm transcurren 36 días desde la formación del brote reproductivo hasta antesis, mientras que en Restrepo y Riofrío, con una altitud de 1.490 y 1.626 msnm respectivamente, los brotes tardaron 10 días más (46 días) para alcanzar la antesis (Figuras 5-32 a 5-34). La evolución del peso fresco y seco de los brotes vegetativos, para la localidad de Palmira, siguió un modelo sigmoideo de la forma  $y=0,051e^{0,5534x}$  ( $R^2$  0,96) para peso fresco y seco en Palmira;  $y=0,9084e^{1,43x}$  ( $R^2$  0,94) para Restrepo y  $y=0,2038e^{1,4452x}$  ( $R^2$  0,97) para Riofrío. Con una primera fase de crecimiento lenta o exponencial hasta el día 15, una segunda fase de crecimiento acelerado o lineal hasta el día 33 y un periodo posterior de estabilización previo a la antesis (Figura 5-35). 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 5-32.** Esquema del desarrollo semanal del brote reproductivo desde su aparición hasta antesis (Foto Andrea Duran)



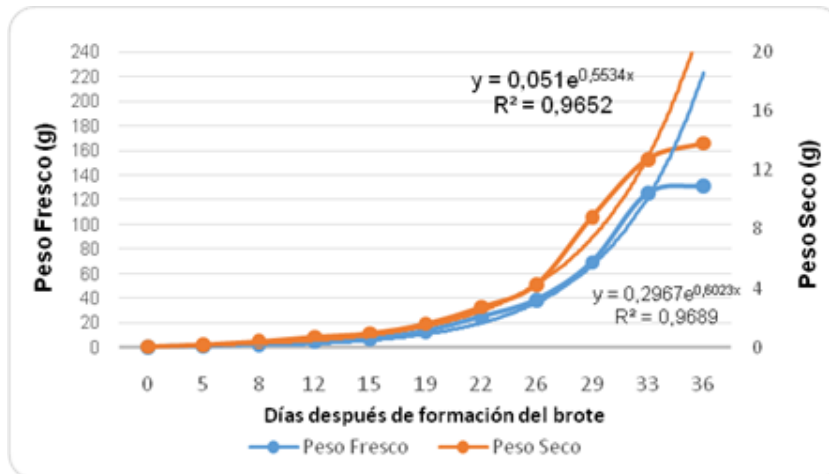
**Figura 5-33.** Aparición de botones florales en tres areolas. El ápice del cladodio esta al lado derecho. (Foto: Jorge A. Medina S)



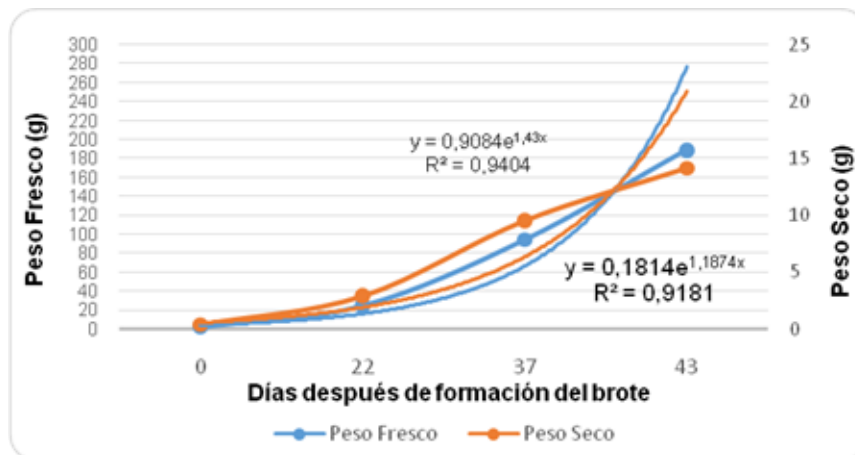
**Figura 5-34.** Antesis de la pitaya amarilla (Fotos: Jorge A. Medina S)



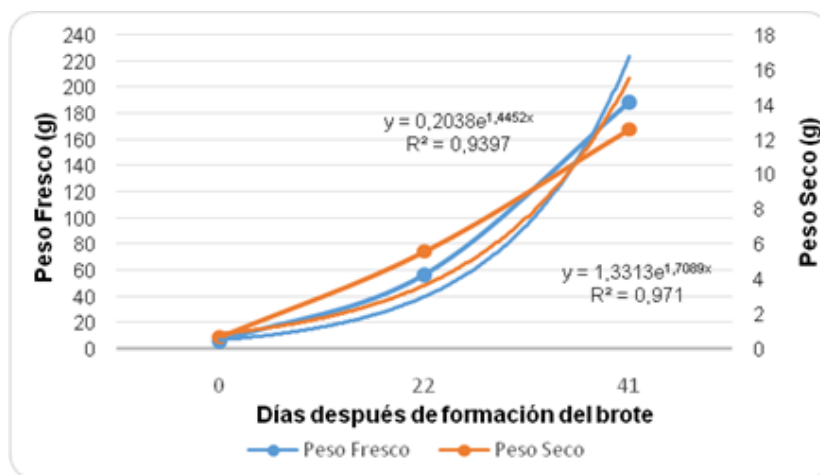
**Figura 5-35.** Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Palmira, (C) Restrepo y (D) Riofrío.



**Figura 5-36.** Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Restrepo.



**Figura 5-37.** Crecimiento en peso fresco y seco de los brotes reproductivos de pitaya amarilla, hasta el momento de antesis, para la localidad de Riofrío.

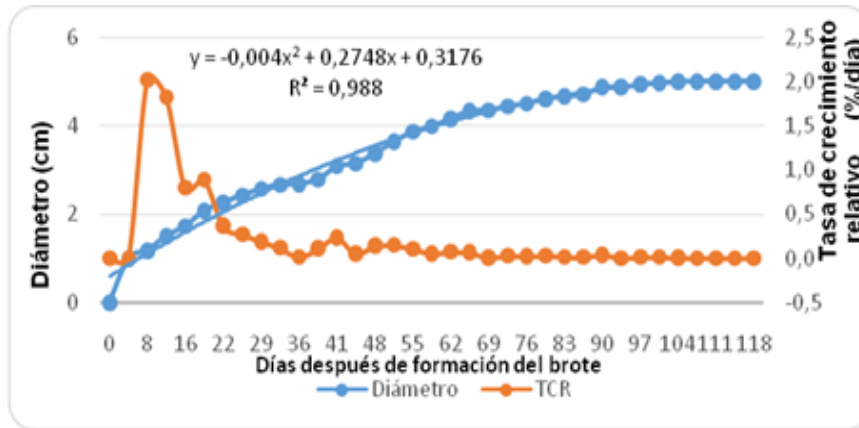


El cuajado o inicio del llenado del fruto se define como la fase del desarrollo que marca la transición de flor-ovario-fruto, este último se desarrollará hasta la madurez. El potencial de crecimiento del fruto puede estar determinado tempranamente en su desarrollo por el tamaño inicial del ovario en antesis y puede manifestarse en un crecimiento temprano más acelerado del fruto y un aumento en su tamaño final. En todas las localidades se presentó una mayor tasa de crecimiento desde la formación del brote hasta antesis. La evolución en el tiempo de las variables de crecimiento del fruto (Diámetro, peso fresco y peso seco) por localidad, se describe a continuación.

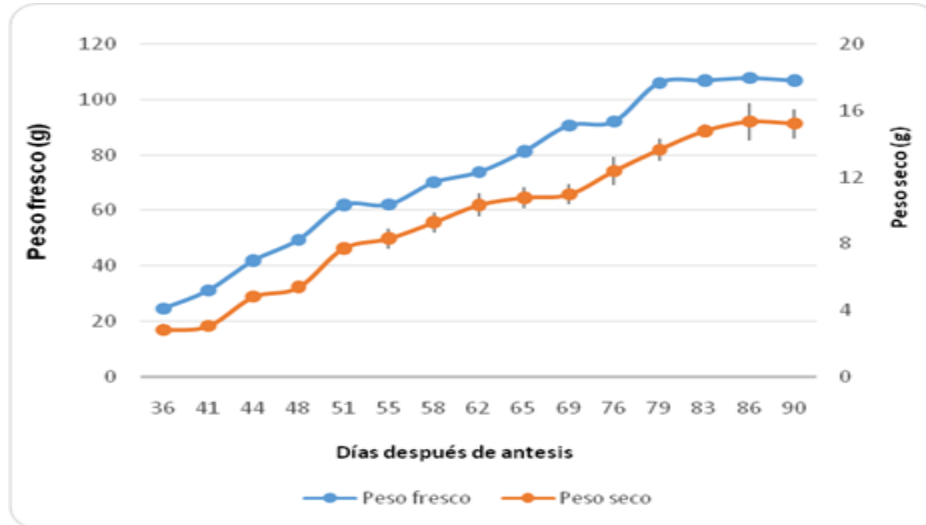
En Palmira, se observó un diámetro de ovario en antesis de 2,7 cm a los 36 días después de la formación del brote. Entre los 36 y 41 días, se presentó la primera fase de crecimiento lento del fruto, caracterizada por un aumento en número de células con mayor actividad de división celular. La segunda fase, 42 a 79 días, se caracterizó por un aumento en tamaño de células con elongación de la pared. Posteriormente, entre los días, 80 a 118 ocurrió la fase de maduración, fase relacionada con acumulación de sólidos solubles y los cambios fisiológicos asociados a estado de madurez del fruto (Figura 5-38). El modelo que explica el aumento en diámetro a través del tiempo es de tipo polinómico de la forma  $y=0,004x^2+0,2748x+0,3176$ .

En relación con el peso fresco y seco, se observa un aumento continuo a través del tiempo entre los días 36 y 90 después de antesis, alcanzado al momento de la cosecha, (día 90 DDA) un peso fresco de 107 g/fruto y seco de 15 g/fruto. Del total de peso acumulado por fruto al momento de la cosecha, el peso fresco corresponde al 14% del peso fresco (Figura 5-39).

**Figura 5-38.** Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, Palmira.



**Figura 5-39.** Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Palmira.



Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre diámetro y días después de aparición del botón floral con un nivel de confianza del 95%. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo así ajustado explica 99,2% de la variabilidad en diámetro. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,129528. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% (Tabla 5-3).

**Tabla 5-2.** ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	65,4953	2	32,7477	1951,89	0,0000
Residual	0,536877	32	0,0167774		
Total (Corr.)	66,0322	34			

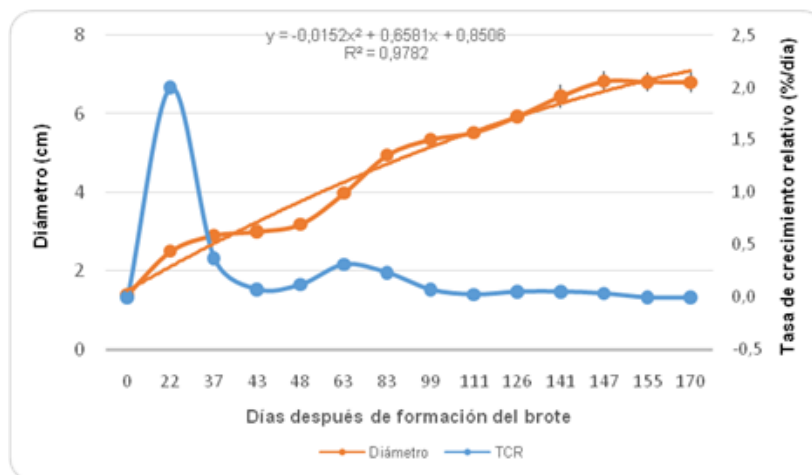
R-cuadrada = 99,1869 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,1361 por ciento  
 Error estándar del est. = 0,129528  
 Error absoluto medio = 0,0832017  
 Estadístico Durbin-Watson = 0,938589 (P=0,0001)

En Restrepo, la antesis se presenta a los 46 días después de la formación del brote floral. Hasta el día 48 se observa un aumento lento en diámetro relacionado con la primera fase de crecimiento del fruto y desde este momento hasta el día 126 se presenta el segundo pico en la tasa de crecimiento relativo (Figura 5-40), el cual coincide con el momento en que se estabiliza la ganancia en peso fresco y seco del fruto. La línea de tendencia que mejor explica el aumento en diámetro es una ecuación de tipo logarítmica con un coeficiente de determinación de  $R^2$  0,92. 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 5-41).

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Diámetro y días después de aparición del botón floral (DDABF) con un nivel de confianza del 95%. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo así ajustado explica 99,2 % de la variabilidad en Diámetro. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,177004. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% (Tabla 5-4).

**Figura 5-40.** Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, en Restrepo.

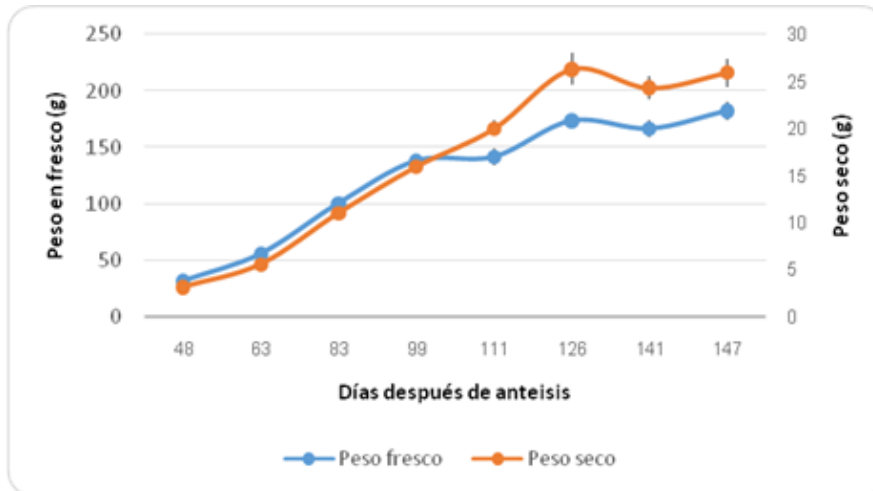


**Tabla 5-3.** ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	43,3483	2	21,6742	691,79	0,0000
Residual	0,344635	11	0,0313304		
Total (Corr.)	43,6929	13			

$R^2 = 99,2112$  porciento  
 $R^2$  (ajustada por g.l.) = 99,0678 porciento  
 Error estándar del est. = 0,177004  
 Error absoluto medio = 0,133822  
 Estadístico Durbin-Watson = 1,25571 ( $P=0,0128$ )  
 Autocorrelación de residuos lag 1 = 0,269622

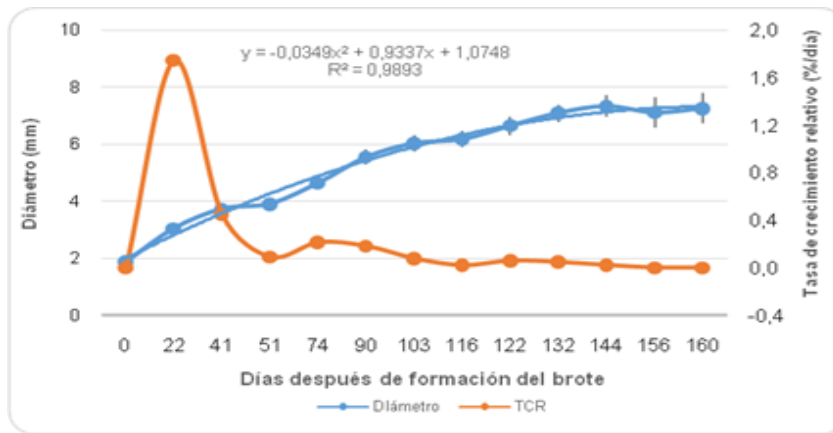
**Figura 5-41.** Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Restrepo.



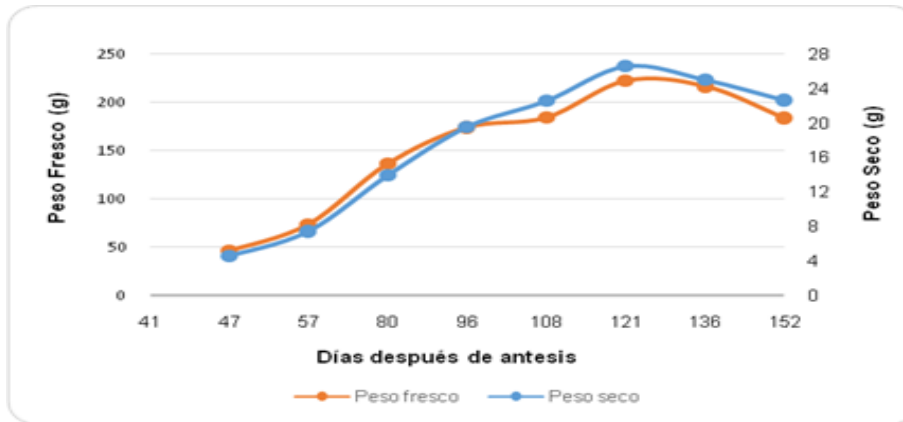
En Riofrío, el momento de la antesis se presenta a los 46 días después de la formación del brote floral. Hasta el día 51 se observa un aumento lento en diámetro relacionado con la primera fase de crecimiento del fruto y desde este momento hasta el día 116 se presenta el segundo pico en la tasa de crecimiento relativo (Figura 5-42), el cual coincide con el momento en que se estabiliza la ganancia en peso fresco y seco del fruto. La línea de tendencia que mejor explica el aumento en diámetro es una ecuación de tipo logarítmica con un coeficiente de determinación de  $R^2$  0,97. 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 5-43).

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Diámetro y días después de aparición del botón floral (DDABF) con un nivel de confianza del 95%. El estadístico  $R^2$  indica que el modelo así ajustado explica 99,0 % de la variabilidad en Diámetro. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,211485. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% (Tabla 5-5).

**Figura 5-42.** Crecimiento en diámetro del fruto desde la formación de brote y su relación con la tasa de crecimiento relativo, Riofrío.



**Figura 5-43.** Aumento en peso fresco y seco, para la localidad de Riofrío



**Tabla 5-4.** ANOVA para la regresión del aumento en diámetro en función del tiempo

Fuente					Suma de Cuadrados	GI	Cuadro Medio	Razón n-F	Valor-P
Modelo					50,0071	2	25,0035	559,04	0,0000
Residual					0,491985	11	0,0447259		
Total (Corr.)					50,4991	13			

$R^2 = 99,0258$  por ciento

$R^2$  (ajustada por g.l.) = 98,8486 por ciento

Error estándar del est. = 0,211485

Error absoluto medio = 0,154967

Estadístico Durbin-Watson = 1,46676 (P=0,0505)

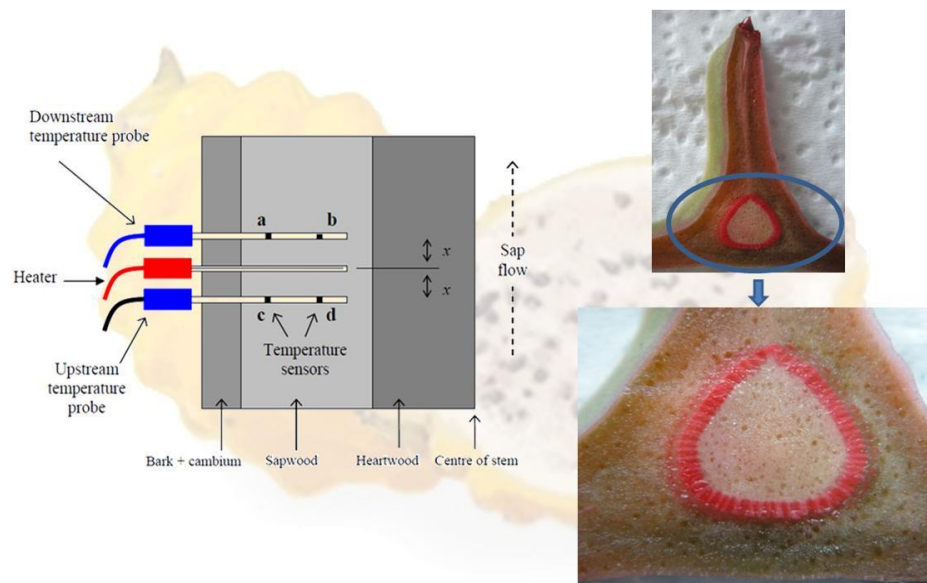
Autocorrelación de residuos lag 1 = 0,266582

## 5.2. Determinación de las relaciones hídricas

### 5.2.1. Calibración de equipos para las determinaciones fisiológicas

De acuerdo con la distribución de haces vasculares, la instalación del SAP FLOW permitió monitorear el movimiento de agua a través del sensor interno, el externo no registró valores coherentes posiblemente debido a que el sensor no queda en contacto directo con el tejido conductor (Figura 5-44). La arquitectura de la planta de pitaya, no permitió adaptar los sicrómetros de tallo para monitorear el potencial hídrico, Con el fin de confirmar el funcionamiento de los sensores de movimiento de agua en la planta, como procedimiento experimental adicional no contemplado en el proyecto, pero necesario para evidenciar un comportamiento no estudiado en pitaya a nivel mundial, se tomaron improntas de estomas a lo largo del día para verificar su grado de apertura y en efecto, de si se trata de una planta CAM facultativa.

**Figura 5-44.** Izquierda, Ubicación de sensores dentro del tejido de la planta. a y c: sensores externos. b y d: sensores internos. Derecha, corte transversal de tallo de plantas de pitaya. mostrando la distribución de haces vasculares (Foto: Alexander Rebolledo R.)



### 5.2.2. Monitoreo de las relaciones hídricas durante la fase vegetativa y reproductiva del cultivo.

En Restrepo y Riofrío, se instalaron los sensores para medir el contenido de humedad del suelo (Figura 5-45) y la velocidad de movimiento del flujo de savia en las plantas (Figura 5-46), En Restrepo se hizo el seguimiento del 22 al 28 de Julio de 2010 y en Riofrío desde el 29 de julio al 5 de agosto de 2010, durante el periodo seco. En ambas zonas, las plantas

se encontraban en periodo de cosecha. Posteriormente los sensores fueron instalados en el mes de marzo de 2011 durante la época de lluvias.

**Figura 5-45.** Sensores para medir humedad del suelo, ubicados en Restrepo y Riofrío (Fotos: Jorge A. Medina S.)



**Figura 5-46.** Sensores para medir la velocidad del movimiento del flujo de savia (SAP FLOW), ubicados en Restrepo y Riofrío (Fotos: Jorge A. Medina S.)



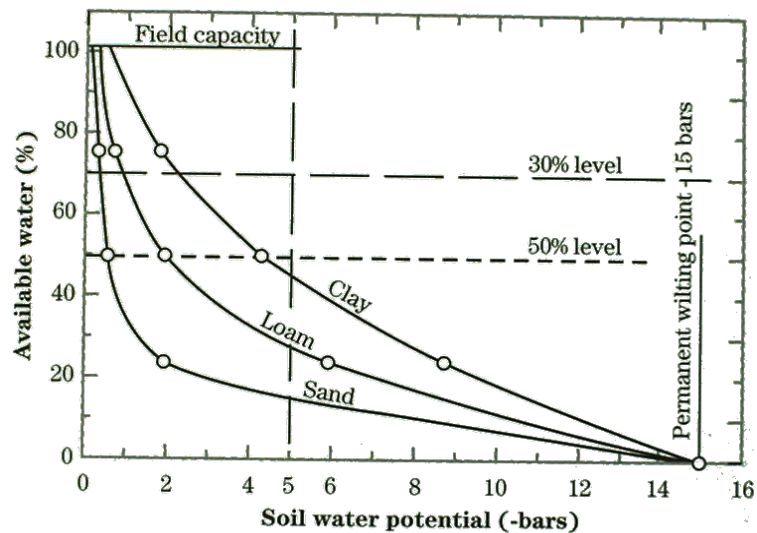
**Figura 5-47.** Registrador de datos Smart Logger –Restrepo y Riofrío-



El movimiento de agua depende del contenido de humedad en el suelo y de las condiciones climáticas predominantes que determinan las tasas de transpiración. En relación con el contenido de retención de humedad en el suelo, se consideran rutinariamente curvas de disponibilidad de agua dependiendo de las características del suelo. El potencial hídrico se define como la energía libre del agua en función de la cantidad de solutos disponibles

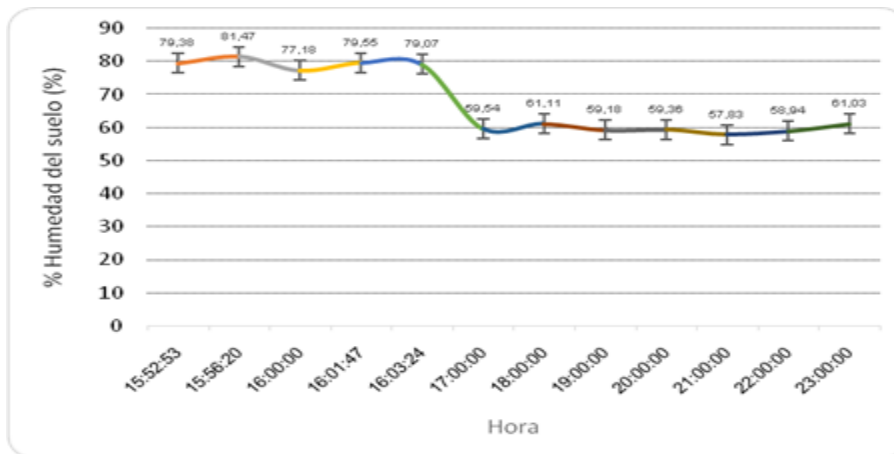
en la solución del suelo. Se toma como referente el potencial hídrico del agua en estado puro, el cual es cero. En la figura 5-48, se observa el contenido de agua de acuerdo al tipo de suelo y las diferencias en el potencial hídrico conforme se reduce el contenido de agua, con una tendencia a mayor capacidad de retención de agua en suelos arcillosos, de textura fina y menor proporción de espacios porosos, pero con mayor cantidad de minerales da una tendencia a potenciales hídricos más negativos. En suelos de textura gruesa como las arenas, los cuales presentan una mayor proporción de poros de gran tamaño y menor contenido en minerales, se presenta una menor capacidad de retención de humedad, lo que muestra potenciales hídricos menos negativos.

**Figura 5-48.** Relación entre contenido de humedad del suelo en términos de porcentaje y potencial hídrico expresado en bares, de acuerdo al tipo de suelo. Tomado de Bilskie, 2001.



En Palmira, según el análisis hidrofísico, se presentan suelos con predominancia de arcillas, con problemas de drenaje, visualizados en los altos valores de densidad aparente:  $1,4 \text{ g/cm}^3$  y la textura franco arcillosa (FAR), que generan conductividades hidráulicas calificadas como “moderadamente lentas” a las profundidades de muestreo (0 a 40 cm). Para el Valle del Cauca en general, los suelos se generaron a partir de materiales aluviales, depositados por el río Cauca y algunos de sus afluentes. Se encuentran principalmente arenas finas, limos y arcillas fuertemente influenciados por procesos antrópicos con fines agrícolas. En general se trata de suelos desarrollados a partir de materiales aluviales, con drenajes que van desde buenos hasta muy pobres influenciados directamente por niveles freáticos temporalmente altos en las zonas medias y constantemente someros para zonas cercanas al río Cauca, los cuales impiden el drenaje natural de los suelos. Las características descritas para este tipo de suelo hacen que se presente un contenido volumétrico de agua que oscila entre 59 y 82 % (Figura 5-51).

**Figura 5-49.** Porcentaje de humedad del suelo del cultivo de pitaya ubicado en la localidad de Palmira.



Al correlacionar el contenido volumétrico de agua con la inducción y formación de brotes reproductivos no se establece una ecuación o línea de tendencia que explique la interacción de los dos parámetros. Sin embargo, al integrar los parámetros climáticos como precipitación, brillo solar y temperatura registrados en la localidad de Palmira con el inicio de la formación del brote reproductivo se observa que hay coincidencias después de días con bajo brillo solar en promedio por debajo de 2,5 horas, asociado con precipitaciones, deja ver la posible incidencia directa del régimen de humedad del suelo y luminosidad sobre el desarrollo en las fases fenológicas, porque al observar la variable climática brillo solar la respuesta del cultivo en la floración es significativa, lo que podría indicar que estas dos variables climáticas son determinantes en esta etapa fenológica.

Aprovechando que se tiene la estación meteorológica para hacer el seguimiento detallado de las variables climáticas, en el cultivo de Palmira se seleccionaron 160 plantas al azar para hacer el seguimiento de la floración.

**Tabla 5-5.** Relación de botones florales por planta en el año 2010 para la localidad de Palmira.

Año 2010	Número flores	Número de plantas florecidas	Porcentaje de plantas florecidas
Febrero	64	32	9,86
Marzo	98	33	15,10
Mayo	84	28	12,94
Junio	140	40	21,57
Agosto	93	26	14,33
Septiembre	56	17	8,63
Noviembre	114	35	17,57

En Palmira durante el año 2010 se registraron siete floraciones en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre. En febrero la floración se presentó entre los días 18 y el 23. Analizando los registros meteorológicos de Palmira, se observa

que en enero solo cayeron 4,7 mm el día 26 y entre los días 5 al 9 de febrero 64 mm y hubo en promedio 3,6 horas brillo solar, con dos días de cero brillo solar y un máximo de 6,5. Debe tenerse en cuenta que para la variable brillo solar el promedio anual histórico para Palmira es de 5,9 horas luz. La siguiente floración se dio entre el 5 y 12 de marzo, durante el 10 y el 24 de febrero, se presentó un periodo seco seguido por cinco días en donde cayeron 6,5 mm y en promedio 1,5 horas de brillo solar con un rango entre cero y 3,6 horas.

La otra floración se presentó entre el 26 de abril y el 5 de mayo, en este caso todo el mes de abril tuvo precipitaciones, pero entre el 11 y el 15 se presentaron los días con menor brillo solar, con promedio de 2,8 horas. En el mes de junio se tuvieron 14 días de lluvias, pero entre los días uno y cuatro hubo dos días con cero horas de brillo solar con un promedio de 2,2 horas y 51,6 mm de precipitación con períodos secos de máximo tres días.

Entre el 13 y el 15 de agosto empiezan a aparecer botones florales, esta floración fue baja comparada con las anteriores, el mes anterior, julio, se presentaron precipitaciones de 99,5 mm, cantidad alta comparándola con otros años, en el 2009 que fue de 13,5 mm; julio tuvo 20 días con precipitaciones, pero entre el 29 de julio y el uno de agosto el brillo solar estuvo entre 0,7 y 4,0 horas con un promedio de 2,5 horas luz.

La floración del 20 al 26 de septiembre no fue precedida por períodos de sequía largos pero si se presentaron en los ocho primeros días 2,9 horas de brillo solar, siete de estos días estuvieron en el rango entre 0,9 y 4,1 horas de brillo solar. La última floración del 2010 se presentó en noviembre entre el 20 y 26, este mes se caracterizó por ser uno de los más lluviosos en 20 años con 397,7 mm, hubo cuatro días sin precipitaciones, pero en los primeros ocho días solo uno llegó a 5,5 horas luz, los otros estuvieron entre cero y tres horas luz, con un promedio de 1,7 horas.

La tendencia que se da es que en Palmira la aparición de botones florales se da entre 17 y 20 días después que se han presentado varios días, cuatro a seis, con bajo brillo solar, el promedio en todos los casos estuvo por debajo de 2,5 horas luz.

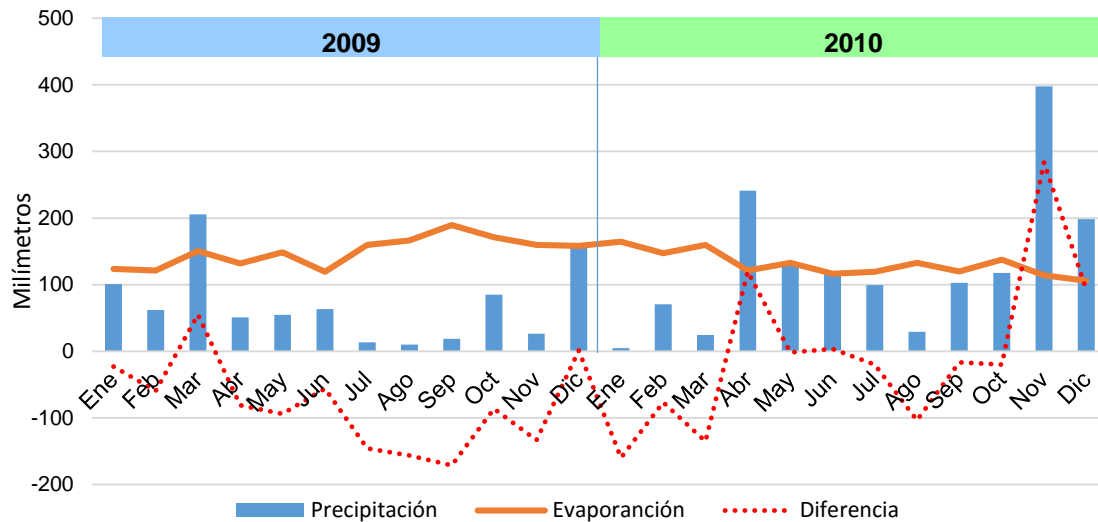
#### ▪ Balance climático

Como se aprecia en la figura 5-52 para Palmira el año 2009 presentó un balance de humedad negativo con 850,7 mm de precipitación y 1.800,3 mm de evaporación; solo dos meses con precipitaciones altas y de esas solo en marzo fue positivo. Se presentaron dos floraciones en los meses julio y octubre (Figura 5-53). El brillo solar fue en promedio de 4,1 horas, con un promedio más bajo en enero de 3,4 horas y el más alto de 6,6 horas en septiembre.

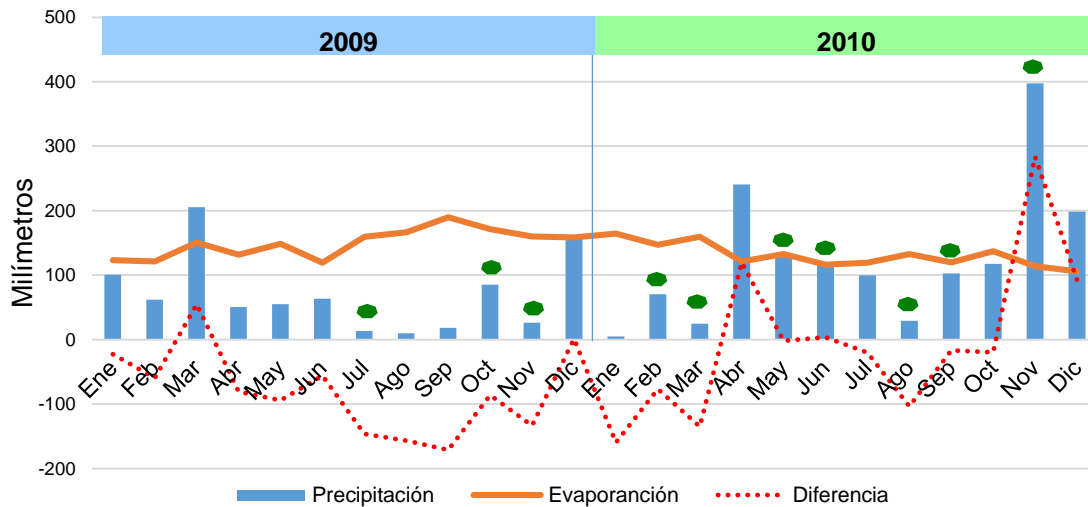
En el 2010 para Palmira solo el mes de enero presentó una baja precipitación, 4,7 mm y una evapotranspiración de 164,5 mm. En los meses de mayo, junio julio y octubre fueron algo equilibradas, pero en abril, octubre y noviembre fueron mayores las precipitaciones que la evapotranspiración. En este año se presentaron precipitaciones de 1.537 mm y la evapotranspiración alcanzó los 1.457 mm. Como ya se dijo en este año se presentaron siete floraciones en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre. Este fue un año con poco déficit hídrico y el suelo estuvo con alto régimen de humedad, por lo anterior no hubo esteres hídrico en el cultivo. El brillo solar en este año

fue en promedio de 4,1 horas, con el promedio más bajo en el mes de noviembre con 2,7 horas y el máximo en enero con 6,1 horas.

**Figura 5-50.** Comportamiento de la precipitación y la evaporación vs floración en el C.I. Palmira 2009 y 2010. (Fuente: Construcción propia)



**Figura 5-51.** Comportamiento de la precipitación y la evaporación vs floración en el C.I. Palmira 2009 y 2010. Los heptágonos verdes encima de la barra de precipitaciones indican los meses en que emitió botones florales (Fuente: Construcción propia)



Este comportamiento climático durante el año 2010 en Palmira con altos contrastes en posiblemente es el responsable de que esta localidad presentara más floraciones que en

Restrepo y Riofrío. Las floraciones fueron relativamente parejas como se ve en la tabla 5-6, es importante anotar que ninguna planta que floreció lo hizo dos veces seguidas, o sea, que se alterna la producción, esto debido posiblemente a la poca cantidad de cladodios que se tiene por ser plantas jóvenes. En cultivos en producción, lo que se presenta es alternancia en los cladodios que emiten flores, menos del 1% de los cladodios repiten floración y nunca es la misma cantidad de brotes o frutas que el anterior.

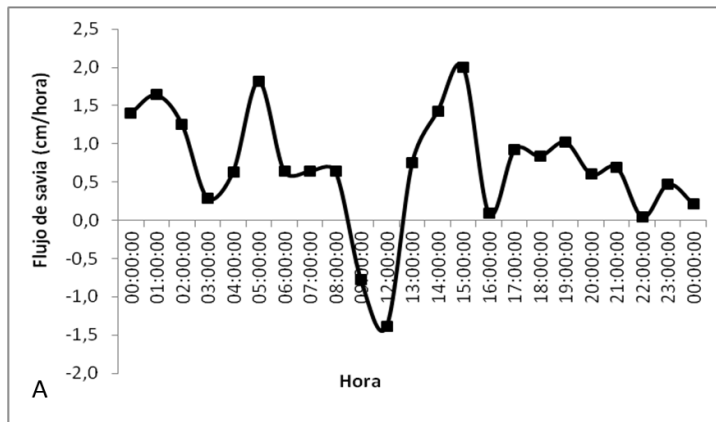
En las localidades de Palmira, Restrepo y Riofrío, se hizo el seguimiento al flujo de savia durante la cuarta semana del mes de Diciembre de 2010 (Figura 5-54). El comportamiento observado indica un aumento en el movimiento de agua en la planta a partir de las dos de la madrugada, con tendencia a disminuir hacia las seis de la mañana, lo que confirma el comportamiento típico de las plantas CAM, que abren sus estomas durante la noche.

- **Movimiento de agua en la planta**

Para las plantas CAM se ha evidenciado otro tipo de fotosíntesis intermedia o facultativa que puede estar relacionada con el comportamiento observado en la pitaya amarilla. En este sentido Villalobos (2001) en su libro sobre fisiología de la producción de cultivos tropicales indica que *“algunas especies son CAM obligadas, mientras otras, quizá la mayoría, son CAM facultativas. El último grupo, del cual la piña es miembro, funcionan como CAM o como especies C<sub>3</sub>, a un ritmo diario consistente de cuatro fases. La fase I ocurre en horas de la noche, cuando la planta funciona como CAM solamente, asimilando el CO<sub>2</sub> vía PEPCasa y almacenado el malato en la vacuola. La fase II es transitoria y ocurre durante las primeras horas de la mañana, cuando la planta funciona como CAM y C<sub>3</sub> ya que parte del CO<sub>2</sub> atmosférico es asimilado directamente, por acción de la enzima rubisco. En la fase III, durante las horas del mediodía, los estomas se cierran debido a la rápida descarboxilación del malato y la planta funciona únicamente como CAM de nuevo. La fase IV ocurre cuando el malato vacuolar alcanza una concentración muy baja y consecuentemente, el nivel de CO<sub>2</sub> intercelular también baja. Luego los estomas se abren y algo de CO<sub>2</sub> atmosférico podría de nuevo ser asimilado vía rubisco. La duración de cada fase varía con la especie y con las condiciones ambientales. La temperatura, el fotoperiodo y el nivel de humedad afectan la duración de las fases en forma diferencial entre especies y en condiciones apropiadas algunas asimilan una proporción alta de CO<sub>2</sub> atmosférico, directamente por la vía del ciclo RFC”*

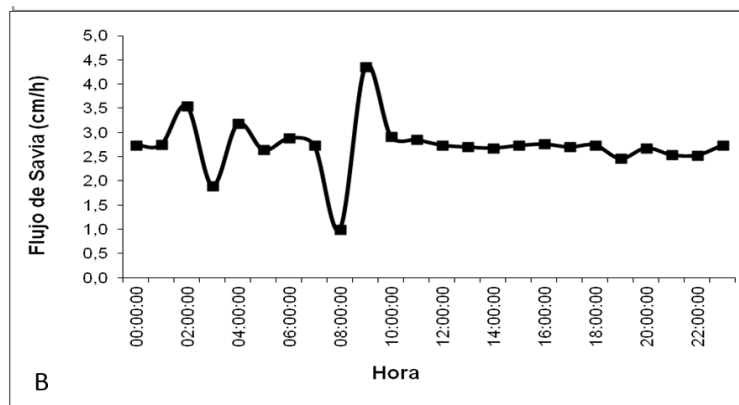
Teniendo en cuenta estas consideraciones y observado el comportamiento de la pitaya amarilla bajo condiciones de las localidades de Palmira que como se ve en la figura 5-52, durante el mes de mayo de 2011, mes en que se presentaron días lluviosos y con bajas horas luz, por lo que el suelo presentaba un alto nivel de humedad, que se presenta una reducción en el flujo de savia entre las 8:00 y las 12:00, pero a partir de las 13:00 empieza a subir hasta alcanzar el máximo a las 15:00 y llegando a cero a las 16:00, para luego como se espera en este tipo de plantas mantiene un flujo positivo de las 17:00 horas en adelante y Riofrío (Figura 5-54), es posible darle la connotación de CAM facultativa a esta especie.

**Figura 5-52.** Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Palmira en mayo de 2011.

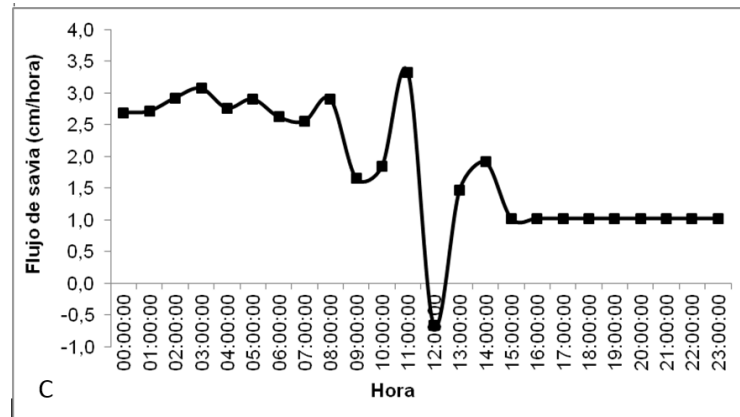


Como se ve en la figura 5-53 en Restrepo para el día 10 de abril, se presentó un flujo positivo permanente, en este día la precipitación fue de 70,8 mm y cero horas de brillo solar. Para el mes de abril de 2011 se presentó una precipitación de 414,8 mm y un promedio de 3,6 horas de brillo solar.

**Figura 5-53.** Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Restrepo.

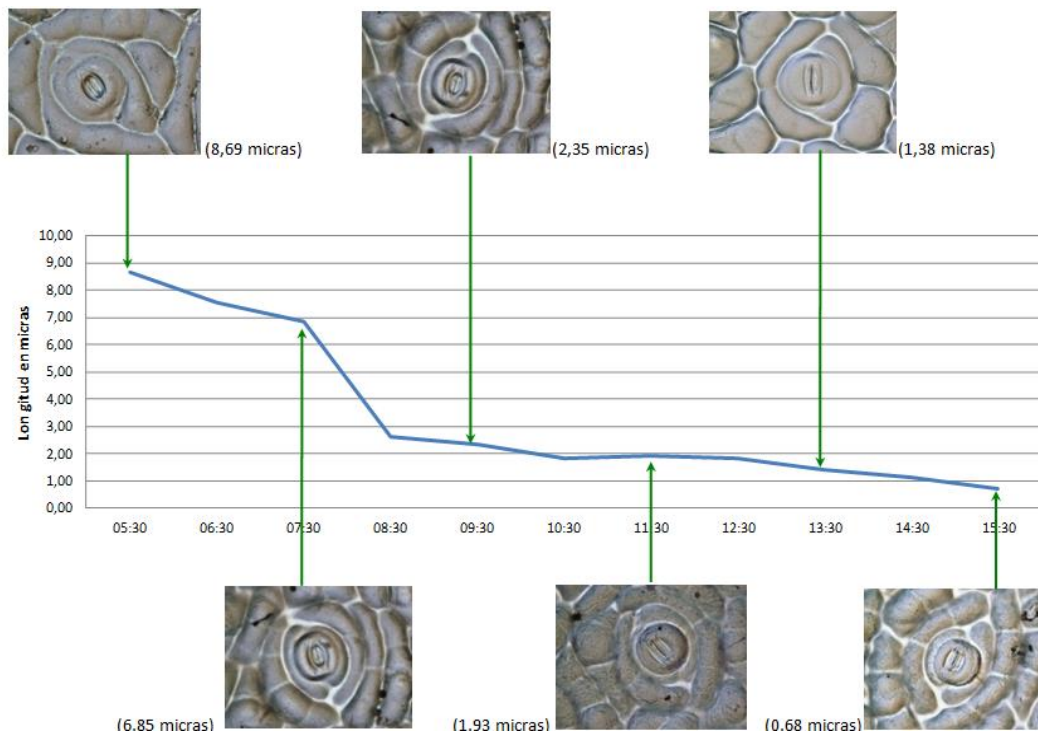


**Figura 5-54.** Movimiento de agua en la planta medido con el SAP FLOW en plantas de pitaya amarilla para la localidad de Riofrío.



El comportamiento registrado con el movimiento de agua en la planta se confirma con la toma de improntas durante el día y la noche (Figura 5-55), en donde se puede observar estomas abiertos a lo largo del día. Hasta la fecha, este comportamiento no ha sido descrito para plantas de pitaya y se convierte en información básica importante que permita profundizar sobre las relaciones hídricas de la especie.

**Figura 5-55.** Grado de apertura del poro estomático a diferentes horas del día, en plantas de pitaya amarilla en condiciones de Palmira.

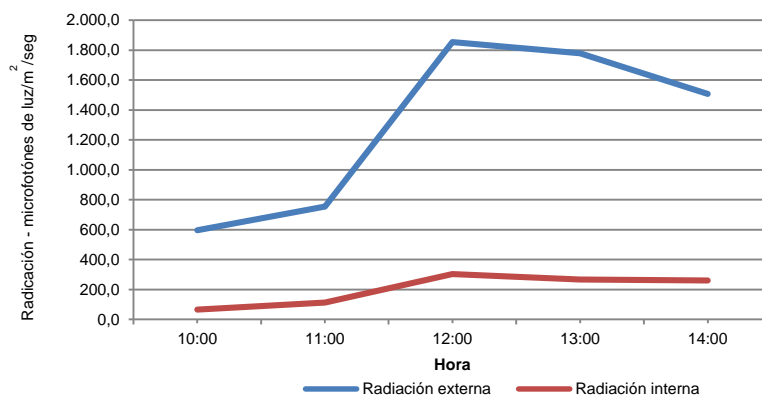


### 5.2.3. Toma de improntas

Como complemento de las observaciones sobre el flujo de savia en las plantas registrado por los sensores se hizo la observación de la apertura estomática, teniendo en cuenta que esta se relaciona con el ascenso de líquidos por los haces vasculares, de acuerdo con la teoría cohesión-tenso-transpiratoria. La constante del movimiento del agua se dio en suelos húmedos y se reducía cuando la medición estuvo precedida de días secos.

Como se ve en la figura 5-59 la radiación (microfotones de luz/m<sup>2</sup>/seg) registrada cuando se tomaron las improntas vario de acuerdo a la hora, pero como se espera la de la parte interna es menor. Lo que se vio reflejado en la apertura de los estomas.

**Figura 5-56.** Radiación tomada en el C.I. Palmira a diferentes horas del día



Como se observa en las figuras 5-60 a 5-66 la apertura estomática varía dependiendo de la hora y posiblemente del régimen de agua en el suelo.

**Figura 5-57.** Estoma observado en aumento 40X. 5:30 horas. Abierto.



**Figura 5-58.** Estomas observados en aumento 40X. 6:30 horas. Abiertos.



**Figura 5-59.** Estoma observado en aumento 40X. 6:30 horas. Cerrado.



**Figura 5-60.** Estoma observado en aumento 40X. 7:30 horas. Abierto



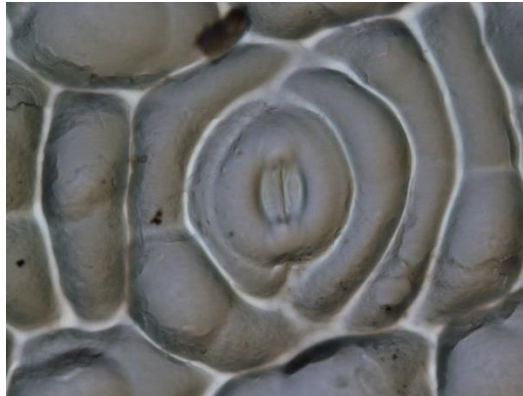
Las improntas fueron tomadas el 27 de enero, en una época en donde había 16 días sin precipitación y en la noche anterior cayeron 0,5 mm, una temperatura máxima de 30,0°C, 4,4 mm de evapotranspiración y 6,2 horas de brillo solar.

En la tabla 6-5 se encuentran registrados las medidas de los estomas en micras. Las placas que aparecen en 0,0 en todas las medidas es que la fotografía no es clara. Teniendo esto en cuenta, la mayor apertura a las 5:30 es de 27,1 y la menor es de 2,3 micras. Pero de las 20 observaciones se presentan 10 medidas están entre 2,3 y 9,9 micras y 10 entre 10,0

y 27,1 micras. A las 6:30, la apertura se reduce, solo 3 de las 24 placas sobrepasan las 10 micras, la mayoría están entre 1,1 y 9,9 micras.

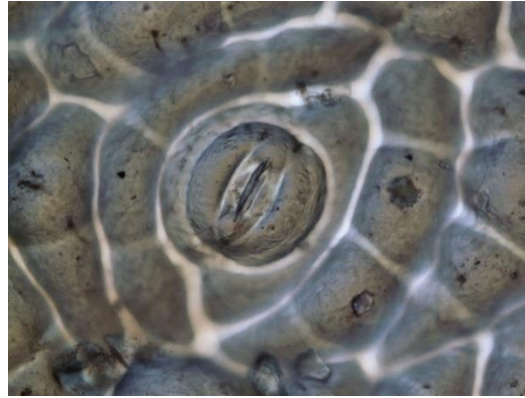
A las 7:30 solo dos lecturas son mayores de 10 micras, mostrándose una completamente atípica de 46,3 micras. En estas placas se ve un estoma cerrado y 10 están por debajo de las 5,0 micras.

**Figura 5-61.** Estoma observado en aumento 40X. 7:30 horas. Cerrado



**Figura 5-62.** Estoma observado en aumento 40X. 11:30 horas. Cerrado



**Figura 5-63.** Estoma (40X). 11:30 horas. Parcialmente abierto.**Tabla 5-6.** Medición de la apertura estomática (AI) en las improntas tomadas entre las 5:30 y las 7:30 horas

PLACA	05:30				06:30				07:30			
	LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI
PLACA 1	95,7	68,1	58,6	27,1	92,1	48,7	30,9	6,5	81,0	56,2	44,8	6,1
	0,0	0,0	0,0	0,0	92,4	62,3	32,9	14,2	98,2	60,7	30,0	6,9
	53,9	54,1	85,0	16,4	78,9	47,1	19,2	7,6	86,6	56,6	26,7	8,0
	81,4	48,0	55,9	16,0	81,6	47,2	21,6	8,8	96,9	59,2	32,4	7,6
	0,0	0,0	0,0	0,0	61,7	43,8	17,0	5,7	90,4	55,3	24,8	4,8
PLACA 2	100,6	59,4	53,7	14,7	71,2	55,1	26,2	10,9	71,6	46,2	29,3	9,4
	78,4	58,4	36,6	11,5	81,0	47,9	22,0	6,6	80,2	58,2	18,5	4,3
	0,0	0,0	0,0	0,0	85,1	59,8	18,1	9,9	88,8	62,4	19,8	4,2
	77,0	50,6	24,1	11,9	55,4	40,6	13,0	3,2	74,4	48,4	20,5	6,5
	0,0	0,0	0,0	0,0	172,9	124,6	67,9	28,3	74,7	42,7	17,4	0,0
PLACA 3	183,1	79,1	66,8	24,5	71,3	53,6	15,3	5,7	67,8	58,1	16,6	2,7
	86,0	57,1	25,3	9,9	73,7	52,6	18,7	4,7	73,1	57,2	18,1	5,2
	68,9	56,7	27,2	12,1	76,4	53,2	24,3	8,5	88,7	58,0	20,1	1,8
	69,8	31,1	29,2	10,5	52,1	37,6	23,2	4,0	85,0	67,8	26,6	3,3
	67,6	45,9	28,2	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	59,3	47,5	10,1	2,0
PLACA 4	88,1	76,8	20,8	6,1	61,6	41,1	13,8	4,0	104,3	90,0	17,2	6,1
	72,0	47,2	24,8	9,6	67,9	44,5	22,6	8,2	75,3	52,9	16,5	4,8
	69,6	53,5	22,4	4,0	65,1	42,3	20,1	8,9	67,8	54,1	18,9	8,0
	72,0	45,8	20,1	7,2	73,5	55,9	24,0	6,9	65,0	52,3	17,2	5,2
	82,1	54,8	23,3	6,5	69,1	47,6	36,0	14,3	63,7	31,0	12,5	3,4
PLACA 5	0,0	0,0	0,0	0,0	82,8	53,5	20,8	7,2	74,1	47,1	21,5	7,5
	91,7	72,3	17,8	4,5	74,7	45,2	24,1	4,9	70,1	46,0	24,4	10,9
	209,3	52,6	33,9	2,3	55,2	44,4	11,4	1,1	62,5	46,1	17,6	4,0
	66,4	47,2	25,3	5,7	56,7	40,0	20,0	2,4	67,4	2,8	14,0	46,3
	68,9	52,0	18,2	6,6	55,5	33,0	18,8	6,6	65,0	44,4	14,7	2,0

LE: Longitud externa LI: Longitud interna AE: Apertura externa AI: Apertura interna

A medida que avanzan las horas, 8:30 a 10:30 horas, la apertura estomática se va reduciendo, pero siguen abiertos la mayoría de los estomas. A las 8:30 la apertura máxima está en 7,2 micras; a la 9:30 su apertura máxima es 6,5 micras y a las 10:30 su apertura varía entre 0,0 y 4,0 micras (Tabla 6)

**Tabla 5-7.** Medidas de la apertura estomática (AI) en las improntas tomadas entre las 8:30 y 10:30 horas

08:30				09:30				10:30			
LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI
no se ve bien la placa				63,1	36,2	14,3	2,0	65,4	60,9	14,9	2,0
				54,8	35,6	11,7	2,0	65,2	52,2	19,5	0,4
				58,5	39,6	10,7	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0
				78,1	51,4	21,0	6,5	60,3	52,9	11,3	1,4
				60,1	39,8	14,4	1,2	96,2	49,8	43,8	3,4
74,9	39,0	17,7	1,8	39,3	30,9	14,1	2,4	66,3	43,2	14,2	2,7
73,8	0,0	13,3	0,0	70,5	52,7	10,4	2,3	55,3	36,3	13,9	3,0
65,3	42,4	11,1	2,3	57,4	31,8	8,7	1,3	64,6	47,6	12,2	0,9
61,2	39,2	19,2	2,2	46,3	40,4	15,3	1,4	56,8	52,2	12,1	1,8
60,6	39,4	18,0	1,3	61,1	46,4	12,7	2,3	82,1	52,5	11,9	2,9
54,7	0,0	16,2	0,0	73,4	50,9	11,7	1,6	74,0	43,3	13,3	2,3
65,9	0,0	13,8	0,0	68,7	37,4	11,3	1,6	61,6	53,6	14,4	1,6
70,1	27,7	21,5	1,8	54,7	35,2	16,5	2,9	68,9	56,2	17,8	2,9
59,2	38,1	19,2	2,4	105,0	97,7	20,0	3,4	65,3	48,1	16,9	2,4
70,4	45,2	13,6	2,8	69,3	57,7	14,7	0,9	87,0	54,7	15,4	3,2
102,2	71,5	45,3	7,2	80,2	64,4	14,4	4,6	81,0	44,2	48,5	0,8
64,3	42,3	16,1	3,0	60,0	45,4	16,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
54,6	36,6	16,0	5,6	55,5	45,5	18,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
79,2	61,9	13,3	1,1	62,8	51,8	14,5	2,0	60,5	24,0	19,4	1,4
61,4	48,1	14,9	3,9	53,1	34,7	14,1	1,6	71,6	46,8	16,8	3,2
62,3	51,7	24,8	7,6	63,9	35,7	15,9	2,8	83,2	0,0	16,9	0,0
63,8	47,3	19,6	3,8	65,6	61,2	12,2	2,0	55,8	36,2	18,2	2,9
58,6	29,3	17,5	1,6	66,4	25,1	14,3	0,9	92,0	59,8	43,1	0,9
55,5	35,8	13,6	2,8	73,0	43,4	13,2	2,6	52,8	37,6	16,8	4,0
62,4	36,4	18,0	0,6	72,9	66,1	17,4	2,9	68,3	33,7	13,6	1,1

LE: Longitud externa LI: Longitud interna AE: Apertura externa AI: Apertura interna

Entre las 11:30 y 13:30 horas, van aumentando los estomas totalmente cerrados (0,0 micras) hasta un máximo de 2,4 micras.

Durante estas horas varia el porcentaje de estomas cerrados, a las 11:30 están abierto el 72%, a las 12:30 el 44% están abiertos y el 48% abiertos a las 13:30 horas.

Esto muestra que estas plantas tienen flujo de fluidos en horas de plena luminosidad, esto debido al movimiento detectado por los sensores y también por lo que significa la apertura estomática, teniendo en cuenta la teoría de la coheso-tenso-transpiratoria. El movimiento de agua y apertura estomática nos sugiere que la planta realiza fotosíntesis de día contrario a lo que se piensa de las plantas CAM. Lo que concuerda con el comportamiento encontrado por Rave, *et al* (2008), en que la pitaya amarilla se comporta bien bajo sombra de 60 y 90%.

Por ser una planta epífita facultativa, evolucionada en las selvas del trópico colombiano, es posible que bajo condiciones similares a las de su hábitat natural, responda bien a las condiciones de humedad del suelo.

**Tabla 5-8.** Medición en micras de la apertura estomática (AI) en las improntas tomadas entre las 11:30 y 13:30 horas (Fuente: construcción propia)

11:30				12:30				13:30			
LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI
94,3	0,0	15,0	0,0	56,3	0,0	15,8	0,0	80,0	33,6	11,6	2,4
58,3	35,7	17,0	4,9	78,6	0,0	16,5	0,0	63,2	46,5	11,3	1,8
61,5	47,2	16,7	2,5	63,5	42,9	18,3	1,2	59,9	32,1	15,7	2,2
57,2	43,8	15,9	2,9	52,9	39,5	13,9	2,6	71,4	0,0	13,2	0,0
69,1	51,0	22,9	4,3	59,0	34,1	14,7	2,9	60,0	40,1	14,3	3,4
70,8	53,9	18,9	2,9	68,7	54,3	17,5	2,0	58,1	0,0	18,6	0,0
68,6	47,7	17,2	3,6	63,5	0,0	12,9	0,0	66,4	0,0	4,1	0,0
74,5	52,3	16,1	1,8	66,6	49,1	13,7	0,9	41,1	0,0	9,3	0,0
62,1	51,2	17,2	3,3	71,1	41,9	15,2	1,1	47,8	0,0	10,4	0,0
75,2	47,5	16,7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	0,0	16,8	0,0
62,7	34,0	15,3	0,4	72,5	0,0	15,7	0,0	73,1	0,0	12,0	0,0
71,9	0,0	17,1	0,0	75,0	0,0	12,9	0,0	66,7	42,6	13,0	0,8
77,5	60,3	13,6	2,8	84,0	0,0	18,4	0,0	49,4	32,1	11,2	1,6
75,4	64,9	18,7	3,4	57,7	0,0	14,5	0,0	52,2	33,5	16,1	2,9
80,8	0,0	7,9	0,0	70,8	0,0	14,4	0,0	62,1	0,0	6,8	0,0
72,5	0,0	13,2	0,0	63,9	0,0	19,7	0,0	84,2	0,0	16,7	0,0
74,6	49,1	20,6	1,6	59,2	0,0	17,1	0,0	86,0	63,6	13,0	0,9
90,8	71,2	14,9	1,6	62,9	39,2	22,7	0,6	63,8	0,0	11,7	0,0
68,2	52,1	12,2	1,7	67,8	49,7	10,2	1,8	70,4	45,6	9,1	1,3
83,6	0,0	18,7	0,0	63,9	0,0	16,8	0,0	78,4	35,2	17,6	4,0
51,2	0,0	12,7	0,0	68,7	0,0	17,8	0,0	67,7	0,0	14,8	0,0
56,5	38,4	11,4	0,9	69,7	42,5	14,6	3,4	87,8	0,0	17,0	0,0
74,5	0,0	15,4	0,0	66,6	0,0	13,3	0,0	71,4	0,0	10,0	0,0
82,4	22,7	18,8	1,8	71,2	25,9	11,4	1,3	48,1	25,8	18,0	12,3
90,1	36,0	22,3	4,0	59,3	29,9	15,1	2,0	51,9	32,9	17,3	1,1

LE: Longitud externa LI: Longitud interna AE: Apertura externa AI: Apertura interna

A medida que aumenta o permanece el brillo solar sobre el cultivo, va cerrando estomas, pero algunos permanecen abiertos, lo que permite el flujo de agua por los haces vasculares.

Esta planta varía su comportamiento de acuerdo con el ambiente en donde se desarrolla, pues fisiológicamente responde ante los cambios climáticos que se pueden presentar. Lo que se aprecia en la práctica es que esta planta se desarrolla muy bien bajo sombra de árboles, incluso en zona cafetera; más si el sombrero es excesivo su período vegetativo se alarga, se reduce la capacidad reproductiva, o sea, floraciones menores con respecto a las sembradas a libre exposición. Como observación en el campo se ha notado que la incidencia de enfermedades es menor en los cultivos con sombrero, pero como se decía la producción se reduce; por el contrario a libre exposición la incidencia es mayor, y las floraciones mayores.

Como caso especial se puede comparar este comportamiento con el de la variedad de pitaya amarilla que se encuentra en el piedemonte andino-amazónico en el centro oriente del Ecuador, a 900 msnm; estos cultivos tienen producciones que sobrepasan las 20 toneladas por hectárea y los frutos con promedio de 290 gramos, pero tiene un clima con alta precipitación, por encima de 3.500 mm al año, alta humedad relativa, suelo rico en materia orgánica que mantiene saturado, pero los cultivos están rodeados de la selva amazónica, creando un microclima que le permite expresar todo su potencial productivo.

**Tabla 5-9.** Medición en micras de la apertura estomática (AI) en las improntas tomadas a las 14:30 y 15:30 horas (Fuente: construcción propia)

14:30				15:30			
LE	LI	AE	AI	LE	LI	AE	AI
78,0	0,0	7,2	0,0	67,7	0,0	16,5	0,0
68,9	0,0	15,2	0,0	58,7	42,1	15,4	0,9
56,6	37,0	14,5	2,8	66,7	0,0	15,2	0,0
64,6	45,6	14,9	0,8	61,1	0,0	12,0	0,0
64,9	0,0	14,4	0,0	60,5	22,9	14,8	0,4
60,4	0,0	18,0	0,0	80,5	0,0	19,8	0,0
78,9	49,0	15,8	0,4	70,7	0,0	17,0	0,0
62,1	0,0	13,7	0,0	82,4	0,0	14,1	0,0
62,0	0,0	18,0	0,0	80,7	0,0	18,2	0,0
76,8	0,0	13,8	0,0	50,3	0,0	13,7	0,0
71,5	0,0	17,7	0,0	69,0	0,0	16,0	0,0
71,1	0,0	16,2	0,0	59,7	0,0	16,4	0,0
62,0	0,0	14,4	0,0	60,4	0,0	17,3	0,0
62,1	1,1	19,6	23,4	48,9	32,4	15,7	1,8
61,9	0,0	21,7	0,0	57,1	0,0	15,3	0,0
78,1	0,0	22,1	0,0	63,5	28,6	13,9	2,2
60,8	0,0	15,4	0,0	73,1	0,0	14,1	0,0
76,6	0,0	12,0	0,0	63,4	45,6	18,1	1,8
70,1	0,0	16,5	0,0	65,7	48,5	13,7	1,6
61,5	0,0	21,0	0,0	70,7	53,9	14,1	2,5
61,3	0,0	22,8	0,0	76,7	0,0	17,7	0,0
54,7	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
63,3	0,0	17,0	0,0	58,8	0,0	12,9	0,0
72,4	0,0	19,2	0,0	71,1	0,0	16,1	0,0
58,8	33,8	14,0	0,6	78,1	55,3	29,0	5,7

En la tabla 5-9, se aprecia que la apertura del estoma en promedio es mayor a las 5:30 horas y se va reduciendo a medida que avanza el día; entre las 10:30 y 14:30 horas se tomaron datos de radiación al pie de la planta tanto en la parte externa como al interior de la planta, en cada hora se hicieron diez lecturas y se promediaron. El primer dato fue de 596,2 y 66,7 microfotones de luz/m<sup>2</sup>/seg respectivamente; a las 12:30 horas fue de 1.854,2 y 304,5 y a las 14:30 horas 1.507,9 y 261,4 microfotones de luz/m<sup>2</sup>/seg. Es evidente que a mayor radiación la apertura del ostiolo es menor, pero como se tomaron improntas en cladodios localizados al interior y al exterior de la planta, se apreciaron mayor cantidad de estomas abiertos en los que se tomaron en el interior de la planta.

**Tabla 5-10.** Media y desviación estándar de la apertura del ostiolo en micras (Fuente: construcción propia).

Hora	Media	Desviación estándar
05:30	10,9	6,4
06:30	7,9	5,4
07:30	5,5	2,4
08:30	2,7	2,1
09:30	2,3	1,2
10:30	2,0	1,2
11:30	2,0	1,7
12:30	0,9	1,1
13:30	1,4	2,6
14:30	4,7	0,6
15:30	0,7	1,3

En este trabajo se observó que en los cladodios la apertura de estomas se iniciaba cuando la temperatura disminuía y que la apertura de los estomas responde positivamente a un incremento de la humedad relativa. Ellos sugieren que en estudios de este tipo, se debe tener en cuenta que las densidades de los estomas pueden ser influenciados por muchos factores tales como la genética (variedad) y del medio ambiente, incluyendo la concentración de CO<sub>2</sub>, de radiación y la humedad.

### 5.3. Determinación de requerimientos nutricionales durante la fase vegetativa y reproductiva del cultivo

En términos generales, los suelos tanto de Riofrío como de Restrepo, presentan buen contenido de materia orgánica.

En Restrepo, los suelos presentan textura FAr en los diez primeros centímetros de profundidad y arenosa de 10 a 30 cm. Al tratarse de una cactácea, la pitaya amarilla desarrolla un sistema de raíces superficial que se concentra en los 30 primeros cm de profundidad del suelo, como se ha visto en estudios en otra cactácea como el nopal reportado por Zuñiga *et al* (2009). Elementos claves para el desarrollo de la planta tales como P, Mg y Na, se encuentran con baja disponibilidad en el suelo, mientras que K, Ca y S, se encuentran dentro de rangos altos a medio. En relación con los primeros, esta condición del suelo puede representar un problema en las etapas de mayor actividad metabólica del cultivo, especialmente en la fase reproductiva en la formación de brote y la fase de cuajado. Se debe destacar la importancia del fósforo en la formación de ATP (Energía metabólica), del Mg en la actividad fotosintética y del Boro en la germinación del tubo polínico (Tabla 5-10). La localidad de Riofrío presenta un comportamiento similar con deficiencias en los elementos fósforo, sodio, potasio y boro (Tabla 5-11)

**Tabla 5-11-** Análisis de nutrientes del suelo de la finca “La Cabaña”. Restrepo.

Nutriente	Unidad	Optimo	Resultados del análisis	Estado
MO	%	3,0 a 5,0	6,78	Alto
Nitrógeno	%	0,15 a 0,25		
Fósforo	mg/kg	40,00 a 100,00	2,04	Muy bajo
Potasio	cmol/kg	0,50 a 0,80	0,98	Alto
Calcio	cmol/kg	6,00 a 15,00	5,53	Bajo
Magnesio	cmol/kg	3,00 a 6,00	1,23	Muy bajo
Hierro	mg/kg	25,00 a -50,00	233,56	Muy alto
Manganeso	mg/kg	5,00 a 10,00	7,08	Normal
Zinc	mg/kg	0,20 a 0,40	5,04	Muy alto
Cobre	mg/kg	1,00 a 3,00	3,00	Normal
Boro	mg/kg	0,50 a 1,00	0,18	Muy bajo
Ca/Mg	cmol/kg	3,0 a 5,0	4,50	Normal
Ca/K	cmol/kg	5,0 a 25,0	5,64	Normal
Mg/K	cmol/kg	2,5 a 15,0	1,26	Baja
(Ca+Mg)/K	cmol/kg	10,0 a 40,0	6,90	Baja

(Fuente: Construcción propia)

**Tabla 5-12.** Análisis de nutrientes del suelo de la finca “El Jardín. Riofrío

Nutriente	Unidad	Optimo	Resultados del análisis	Estado
MO	%	3,0 a 5,0	4,01	Normal
Nitrógeno	%	0,15 a 0,25		
Fosforo	mg/kg	40,00 a 100,00	2,04	Muy bajo
Potasio	cmol/kg	0,50 a 0,80	0,17	Bajo
Calcio	cmol/kg	6,00 a 15,00	7,80	Normal
Magnesio	cmol/kg	3,00 a 6,00	3,79	Normal
Hierro	mg/kg	25,00 a -50,00	136,20	Muy alto
Manganeso	mg/kg	5,00 a 10,00	27,82	Muy alto
Zinc	mg/kg	0,20 a 0,40	2,12	Muy alto
Cobre	mg/kg	1,00 a 3,00	6,76	Muy alto
Boro	mg/kg	0,50 a 1,00	0,25	Muy bajo
Ca/Mg	cmol/kg	2,0 a 5,0	2,06	Normal
Ca/K	cmol/kg	5,0 a 25,0	45,88	Alta
Mg/K	cmol/kg	2,5 a 15,0	22,29	Alta
(Ca+Mg)/K	cmol/kg	10,0 a 40,0	68,18	Muy alta

(Fuente: Construcción propia)

En la localidad de Palmira, según los análisis de fertilidad del suelo del lote 15 del C. I. Palmira se presentaron contenidos altos de materia orgánica, fósforo y bases intercambiables (Ca, Mg, K). La relación (Ca+Mg)/K fue adecuada ya que es menor de 70, por lo cual la disponibilidad de estos elementos es buena; pero la relación entre Ca y Mg es 1,5, no fue apropiada, por lo cual el suelo pudo limitar la absorción de algunos de estos macro-elementos por la planta; teniendo en cuenta esta calificación, al revisar la literatura con respecto a las relaciones de los cationes se ve que los valores considerados adecuados son variables, por lo que para algunos autores se consideran adecuados los encontrados en Palmira, pero también muy lo anterior. Teniendo en cuenta lo que dice Sadeghian (2012) que en forma general y también para algunas especies de relaciones ideales para  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , en la práctica no son tan fáciles ya que los suelos tienen diferentes tipos de afinidad por estos cationes debido a sus diferencias mineralógicas, químicas y físicas. Para determinar la influencia sobre la producción en muchas especies vegetales, de la variación de estos tres cationes intercambiables en el suelo, se han hecho numerosas investigaciones, pero no se han tenido resultados concluyentes.

**Tabla 5-13** Análisis de nutrientes del suelo lote 15 C. I. Palmira (Fuente: Construcción propia)

Nutriente	Unidad	Optimo	Resultados del análisis	Estado
MO	%	3,0 a 5,0	3,46	Normal
Nitrógeno	%	0,15 a 0,25		
Fosforo	mg/kg	40,00 a 100,00	55,90	Normal
Potasio	cmol/kg	0,50 a 0,80	0,56	Normal
Calcio	cmol/kg	6,00 a 15,00	9,26	Normal
Magnesio	cmol/kg	3,00 a 6,00	5,22	Normal
Hierro	mg/mg	25,00 a -50,00	30,50	Normal
Manganeso	mg/kg	5,00 a 10,00	2,87	Muy bajo
Zinc	mg/kg	0,20 a 0,40	1,97	Muy alto
Cobre	mg/kg	1,00 a 3,00	6,30	Muy alto
Boro	mg/kg	0,50 a 1,00	0,21	Bajo
Ca/Mg	cmol/kg	2,0 a 5,0	1,77	Bajo
Ca/K	cmol/kg	5,0 a 25,0	16,54	Normal
Mg/K	cmol/kg	2,5 a 15,0	9,32	Normal
(Ca+Mg)/K	cmol/kg	10,0 a 40,0	25,86	Normal

(Fuente: Construcción propia)

Con el fin de establecer las correlaciones entre los niveles de nutrientes de la planta en función de los estados fenológicos, primero se llevó a cabo una prueba de comparación de medias para determinar si las variaciones en el contenido nutrimental de la planta son estadísticamente significativas. Para el caso de Riofrío, se confirma que puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los contenidos de nutrientes comparados con un nivel del 95,0% de confianza (Tabla 5-13).

**Tabla 5-14.** Comparación de medias de nutrientes foliares para la localidad de Riofrío

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	173.820,0	3	57.939,9	0,47	0,7041
Intragrupos	4,91882E6	40	122.971,0		
Total (Corr.)	5,09264E6	43			

(Fuente: Construcción propia)

Teniendo en cuenta que no existen diferencias en los niveles de nutrientes, se consideró el promedio de los mismos para comparar el estado nutricional de la planta de acuerdo con los requerimientos promedio de 24 especies de frutales (Anexo J). De acuerdo con esta

tabla, la condición de planta CAM con tejido succulento de la pitaya amarilla, la cual posee tejido especializado para la acumulación de agua, puede conllevar a incremento en los niveles de algunos nutrientes, dependiendo de las necesidades metabólicas.

En Riofrío, se confirma una mayor concentración de nutrientes tan importantes como el fósforo, potasio y calcio, implicados en los procesos de regulación osmótica para el mantenimiento de la turgencia de las células. En Restrepo, en un cultivo tecnificado que aseguran el suministro de nutrientes de acuerdo al plan de fertilización, se confirma los contenidos altos de fósforo y potasio, los demás nutrientes se encuentran dentro de los rangos adecuados para el cultivo. En Palmira se presenta la misma tendencia pero al mismo tiempo se presentan bajos contenidos de algunos elementos menores como Cu, Mn y Zn, requeridos, por ejemplo en procesos fotosintéticos (Tabla 5-14)

**Tabla 5-15.** Requerimiento de nutrientes y promedio de análisis de tejidos

Nutriente	Unidades	Requerimiento	Riofrío	Restrepo	Palmira
<b>N</b>	%BMS	2,40	1,44	1,34	0,84
<b>P</b>	%BMS	0,20	0,34	0,32	0,43
<b>K</b>	%BMS	1,40	3,43	1,98	2,73
<b>Ca</b>	%BMS	1,90	2,18	1,28	1,76
<b>Mg</b>	%BMS	0,40	0,85	0,46	0,96
<b>Fe</b>	mg/k	157,30	102,50	131,60	128,75
<b>Cu</b>	mg/k	14,10	7,77	5,86	2,35
<b>Mn</b>	mg/k	137,50	996,73	193,37	32,70
<b>Zn</b>	mg/k	56,40	34,90	68,11	26,05
<b>B</b>	mg/k	71,70	52,37	60,99	65,80

(Fuente: construcción propia)

Como se aprecia en las tablas 5-14 y 5-15 al comparar los resultados de los análisis foliares de las plantas de la pitaya amarilla en los tres cultivos en donde se trabajó, con los de los 24 cultivos utilizados como referencia, los resultados del sistema DRIS en aguacate y cítricos, así como los obtenidos por *Opuntia ficus-indica* de Zúñiga (2009) y colaboradores, vemos sin importar el estado fenológico en que fue tomada la muestra que el único elemento que está por debajo de los niveles normales es el nitrógeno; en términos generales lo que son Fe, Mn, Zn, Cu y B están en los niveles que consideramos comparativamente normales, mientras que P, K, Ca y Mg están por encima de los valores normales para otros cultivos.

Llama la atención que el nitrógeno sea el que aparece con bajo nivel en el análisis foliar pues a la pitaya amarilla se le adiciona periódicamente materia orgánica, pero el consumo de nitrógeno en las plantas succulentas como es el caso de las cactáceas es muy alto debido a que las estructuras como los cladodios tienen alta biomasa. Además, las características de las plantas CAM con tejido parenquimático especializado para almacenar agua, la dinámica en la acumulación de materia seca está determinada por el estado de desarrollo del tejido acumulador como lo son las raíces y cladodios.

**Tabla 5-16.** Rango requerimiento de nutrientes y promedio de los análisis de tejidos por cultivo. Los valores en rojo se encuentran por debajo del valor mínimo del rango; el verde indica valores dentro del rango; en azul están los valores por encima del rango.

Nutriente	Unidades	Requerimiento	Riofrío	Restrepo	Palmira
<b>N</b>	%BMS	2,10 a 2,65	1,24	1,54	0,84
<b>P</b>	%BMS	0,14 a 0,28	0,34	0,32	0,43
<b>K</b>	%BMS	1,09 a 1,77	3,13	1,82	2,73
<b>Ca</b>	%BMS	1,32 a 2,43	3,30	1,22	1,76
<b>Mg</b>	%BMS	0,26 a 0,49	1,13	0,49	0,96
<b>Fe</b>	mg/k	62,5 a 252,1	107,95	109,50	128,75
<b>Mn</b>	mg/k	29,6 a 245,4	955,27	150,05	32,70
<b>Zn</b>	mg/k	22,1 a 90,6	45,45	69,32	26,05
<b>Cu</b>	mg/k	4,4 a 23,8	6,54	6,60	2,35
<b>B</b>	mg/k	30,4 a 112,9	49,19	59,92	65,80

(Fuente: construcción propia)

**Tabla 5-17.** Resultados de los análisis foliares de las plantas de pitaya amarilla en los municipios de Riofrío, Restrepo y Palmira.

Análisis Localidad	% BMS					mg/K					Estado fenológico del cultivo en que se hizo el análisis
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
<b>Riofrío</b>											
Noviembre de 2009	1,04	0,34	2,82	4,42	1,41	113,40	913,80	56,00	5,30	46,00	Floración
Marzo de 2011	1,44	0,34	3,43	2,18	0,85	102,50	996,73	34,90	7,77	52,37	
<b>Restrepo</b>											
Noviembre 2009	1,01	0,37	1,99	2,40	0,43	139,75	139,70	79,75	4,30	43,30	Floración
Mayo 2010	1,50	0,22	1,35	0,74	0,41	70,70	77,40	66,70	4,70	42,20	Floración
Octubre de 2010	1,04	0,29	1,63	0,94	0,52	193,30	312,68	57,73	5,00	89,73	Llenado de fruto
Noviembre de 2010	2,54	0,33	0,44	0,58	0,36	97,40	114,70	60,00	12,70	56,40	Llenado de fruto
Marzo de 2011	1,60	0,40	3,74	1,44	0,46	46,35	105,75	82,40	6,30	67,95	Floración
<b>Palmira</b>											
Mayo de 2009	0,56	0,50	1,93	2,28	0,77	143,40	30,00	43,40	0,70	70,80	Llenado de fruto
Noviembre 2010	1,11	0,35	3,53	1,23	1,15	114,10	35,40	8,70	4,00	60,80	Llenado de fruto

Alto	Normal	Bajo
El color indica si el valor se encuentra dentro del rango óptimo para los 24 frutales (Óptimo, Verde), por encima del óptimo (Alto, azul) y por debajo del rango (Rojo, bajo).		

(Fuente: construcción propia)

Sin tener en cuenta el nitrógeno, los otros nueve elementos o nutrientes reportados en los análisis foliares de la pitaya amarilla aparecen dentro de los niveles óptimos o por encima

de estos de acuerdo a la tabla que se puso de referencia de los 24 frutales y *Opuntia ficus-indica* como se aprecia en el anexo J, así los elementos aparezcan como bajos en el análisis de suelos.



## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

- En condiciones agroecológicas de la localidad de Palmira correspondientes a 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. la fase vegetativa del cultivo de pitaya amarilla se desarrolló en once meses, desde su establecimiento hasta la aparición de los primeros botones florales.
- En condiciones agroecológicas de Restrepo y Riofrío temperatura media de 20°C, humedad relativa de 83 % y precipitación media anual de 1.500 mm, con picos máximos en los meses de marzo y octubre.
- La producción por planta en Palmira para la última cosecha en febrero de 2011 fue de 2,5 kg mientras que en Restrepo y Riofrío se encuentra entre 3 y 5 kg. Es de considerar que bajo condiciones de Palmira el cultivo aún no ha alcanzado estabilidad en la cosecha.
- Coincidiendo con el estudio de Suarez (2010) el crecimiento de las estacas de pitaya está altamente influenciado por la disponibilidad de agua y la intensidad lumínica, con mayor disponibilidad de agua en el suelo, la tasa de elongación de los tallos también se incrementó.
- La cactácea hemiepífita pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* está adaptada a la sombra y que aún con 90% de sombrío es mínima la reducción de biomasa en épocas secas.
- De acuerdo con las observaciones realizadas en las improntas, los estomas de la pitaya amarilla son del tipo anisocítico o crucífero y están ubicados sobre la superficie.
- Se pudo constatar que la acumulación de materia seca estuvo determinada por el estado de desarrollo del tejido acumulador como los son raíces y cladodios.
- En los cultivos de más de seis años, Restrepo, se observó que la concentración de frutos se daba entre las ramas terceras a sextas. Lo que permite establecer que las ramas séptimas en adelante podrían ser eliminadas. Para los cultivares jóvenes, dos o tres años de desarrollo, caso Palmira,
- Las plantas en los primeros dos y tres años de desarrollo presentan alternancia en la producción; en plantas mayores de cuatro años la alternancia se presenta en las ramas de la misma planta.
- Los brotes reproductivos de la pitaya presentaron un desarrollo, el cual se puede representar por un modelo de tipo exponencial, donde se observa un crecimiento acelerado para las últimas dos semanas de esta fase en las tres localidades estudiadas.

- Con relación al cultivar se ha tenido la creencia que los períodos secos seguidos de varios días con precipitaciones son los que disparaban la etapa de floración. Sin embargo, el ensayo de Palmira en el cual se tuvo información de la variable climática brillo solar permitió establecer cualitativamente una relación directa entre estímulo de floración y esta variable. Es decir, que cuando se presentó bajo brillo solar durante varios días seguidos se estimulaba la floración.
  
- Diferentes observaciones de la dinámica de movimiento del agua dentro de la planta durante el día y la noche permite aseverar que tiene un posible comportamiento de planta CAM facultativa C<sub>3</sub>, como aparece documentado en la literatura que este tipo de metabolismo se presenta en la subfamilia Pereskioide.
  
- A pesar de que el estudio fue desarrollado en tres diferentes localidades que presentaban diferentes sustanciales desde el punto de vista nutricional, los análisis foliares mostraron que el cultivar extrajo prácticamente las mismas cantidades en los diferentes nutrientes incluido el nitrógeno, a pesar de que los niveles de extracción estuvieron por debajo de los reportados en la literaturas.

## 6.2. Recomendaciones

Se requiere establecer mediante estudios rigurosos lo siguientes aspectos:

1. las necesidades hídricas de la pitaya amarilla (respuesta al régimen de humedad del suelo)
2. Las respuestas fisiológicas al brillo solar
3. Respuestas de la pitaya amarilla a la fertilización con nitrógeno
4. La combinación de las variables mencionadas, que son humedad del suelo, brillo solar y nitrógeno.

# Anexos.

## A. Anexo: Anova correlación evolución en tiempo fresco - Palmira

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Peso Fresco y DDABF con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 96,7684% de la variabilidad en Peso Fresco. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 95,9605%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 9,87865. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 7,04241 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P mayor que 0,05, no hay indicación de correlación serial en los residuos, con un nivel de confianza del 95%.

Para determinar si el orden del polinomio es apropiado, primero note que el valor-P en el término de mayor orden es igual a 0,000106705. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%. Consecuentemente, es probable que no quisiera considerar ningún modelo de orden menor.

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	23377,8	2	11688,90	119,78	0,0000
Residual	780,701	8	97,5877		
Total (Corr.)	24158,5	10			

R-cuadrada = 96,7684 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95,9605 por ciento

Error estándar del est. = 9,87865

Error absoluto medio = 7,04241

Estadístico Durbin-Watson = 1,79155 (P=0,1083)

Autocorrelación de residuos lag 1 = 0,0470415

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Peso Fresco y DDABF con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 96,7684% de la variabilidad en Peso Fresco. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 95,9605%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 9,87865. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 7,04241 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P mayor que 0,05, no hay indicación de correlación serial en los residuos, con un nivel de confianza del 95%.

Para determinar si el orden del polinomio es apropiado, primero note que el valor-P en el término de mayor orden es igual a 0,000106705. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es

94 Documentación de las relaciones hídricas y requerimientos nutricionales de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, en tres localidades del Valle del Cauca

---

estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%. Consecuentemente, es probable que no quisiera considerar ningún modelo de orden menor.

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	259,638	2	129,819	136,94	0,0000
Residual	7,58373	8	0,947966		
Total (Corr.)	267,221	10			

R-cuadrada = 97,162 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96,4525 por ciento

Error estándar del est. = 0,973635

Error absoluto medio = 0,741942

Estadístico Durbin-Watson = 1,61523 (P=0,0584)

Autocorrelación de residuos lag 1 = 0,132921

#### El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo polinomial de segundo orden para describir la relación entre Peso Fresco y DDABF. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Peso Fresco} = 0,799323 - 0,285965 \cdot \text{DDABF} + 0,0184304 \cdot \text{DDABF}^2$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Peso Fresco y DDABF con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 97,162% de la variabilidad en Peso Fresco. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 96,4525%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,973635. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0,741942 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P mayor que 0,05, no hay indicación de correlación serial en los residuos, con un nivel de confianza del 95%.

Para determinar si el orden del polinomio es apropiado, primero note que el valor-P en el término de mayor orden es igual a 0,0000952471. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término de mayor orden es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%. Consecuentemente, es probable que no quisiera considerar ningún modelo de orden menor.

## B. Anexo. Anova correlación evolución en tiempo peso fresco - Restrepo

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	11144,6	1	11144,6	1837,39	0,0005
Residuo	12,1309	2	6,06546		
Total (Corr.)	11156,7	3			

Coeficiente de Correlación = 0,999456

R-cuadrada = 99,8913 por ciento

Error estándar del est. = 2,46281

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -0,042 a 0,098

### El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable Peso Fresco en la regresión lineal entre ella y DDABF. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{BoxCox}(\text{Peso Fresco}) = 28,6992 + 3,18155 \cdot \text{DDABF}$$

donde

$$\text{BoxCox}(\text{Peso Fresco}) = 1 + (\text{Peso Fresco}^{0,027} - 1) / (0,027 \cdot 32,4203^{-0,973})$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Peso Fresco y DDABF con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8913% de la variabilidad en Peso Fresco. El coeficiente de correlación es igual a 0,999456, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 2,46281. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.

## C. Anexo: Anova correlación evolución en tiempo peso seco - Restrepo

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	88,5866	1	88,5866	18440,24	0,0001
Residuo	0,00960796	2	0,00480398		
Total (Corr.)	88,5962	3			

Coefficiente de Correlación = 0,999946

R-cuadrada = 99,9892 por ciento

Error estándar del est. = 0,0693108

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 0,074 a 0,132

### El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable Peso Seco en la regresión lineal entre ella y DDABF. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

$$\text{BoxCox(Peso Seco)} = -1,71702 + 0,283655 \cdot \text{DDABF}$$

donde

$$\text{BoxCox(Peso Seco)} = 1 + (\text{Peso Seco}^{0,103-1}) / (0,103 \cdot 3,53061^{-0,897})$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre Peso Seco y DDABF con un nivel de confianza del 95%.


El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9892% de la variabilidad en Peso Seco. El coeficiente de correlación es igual a 0,999946, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,0693108. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.

# D. Anexo: Análisis físico químico de suelos de Palmira

**RESULTADO ANÁLISIS LABORATORIO QUÍMICA DE SUELOS**

**USUARIO:** LILIANA RIOS  
**DIRECCION:** CI PALMIRA  
**DEPTO:** VALLE  
**MUNICIPIO:** PALMIRA

**FINCA:** CI PALMIRA  
**ALTURA (a.s.n.m.):** PITAYA  
**CULTIVO:** COMPLETO  
**T. ANALISIS:**



*Identificación Muestra	N° Lab.	Texture	pH	M.O. %	P mg/kg	S cmol/kg	Al+H cmol/kg	Sat. Al %	Cationes de Cambio				Elementos Menores							
									Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn				
62 S.P.V-P(0-10)	2643	FAr	7.1	3.9	62.5	3.5	0.00	0	0.00	9.70	5.80	0.75	0.16	16.4	0.35	18	2.7	1.4	0.8	0.11
63 S.P.V-P(10-20)	2644	FAr	8.0	3.7	50.5	5.1	0.00	0	0.00	10.63	6.29	0.61	0.15	17.7	0.33	22	3.1	1.7	1.0	0.16
64 S.P.V-P(20-30)	2645	FAr	6.9	3.4	37.4	5.8	0.00	0	0.00	16.44	7.52	0.42	0.21	24.6	0.44	27	3.9	1.6	0.6	0.14

**Interpretación de Resultados**

Contenido en el suelo: 2543: Neutro; 2544: Alc.; 2545: Neutro

**Claves de Interpretación**

N.S.: No salino; F.S.: Fuertemente Salino; M.F.S.: Muy Fuertemente Salino  
 L.S.: Ligeramente Salino; M.L.S.: Moderadamente Salino  
 M.A.: Muy Alcalino; M.Alc.: Muy Alcalino

**Relaciones de Cationes**

N° Lab	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	(Ca + Mg) / K
2543	1.7	13.0	7.7	20.7
2544	1.7	17.4	10.3	27.7
2545	2.2	39.5	16.1	57.6

**Interpretación:**  
 Valores ideales: 3 - 5  
 Valores ideales: 12 - 18  
 Valores ideales: 4 - 6  
 Valores ideales: 12 - 20

**Porcentaje de Saturación de Cationes**

Ca	Mg	K	Na
59.1 %	35.3 %	4.6 %	1.0 %
60.1 %	35.6 %	3.5 %	0.9 %
66.9 %	30.6 %	1.7 %	0.8 %

**Interpretación:**  
 Medio: Exceso; Ideal: Medio; Deficiente: Exceso

**Métodos de Análisis**

**Textura:** Tacto (A) Arena, (L) Limo, (A) Arcilla, (F) Franco  
**pH:** Potenciométrico, relación suelo - agua 1:2.5  
**M.O.:** Materia Orgánica (Walkley - Black Modificado)  
**P:** Fósforo Disponible (Bray II)  
**S:** Azufre Disponible (Fósforo Monocálcico)  
**AH:** Acidez Intercambiable, KCl 1N

**Cationes de Cambio (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>):** Acetato de Amonio 1M a pH 7.00  
**CICE:** Capacidad de Intercambio Cationico Efectivo (Suma de cationes)  
**B:** Boro (Fósforo Monocálcico)  
**C.E.:** Conductividad Eléctrica (Conductimetría)

**Claves de Interpretación**

N.L.: No Limitante; L.G.: Ligeramente Limitante; N.D.: No Detectable

**El solicitante hará uso de los resultados.**

Fecha de Entrada: 11 de mayo de 2009  
 Fecha de Salida: 0 de enero de 1900

*Yenny Rodriguez Ovaldo*  
 Vo. Bº DIRECTOR DEL LABORATORIO

## E. Anexo: Análisis físico químico de suelos de Restrepo

**RESULTADO ANÁLISIS LABORATORIO QUÍMICA DE SUELOS**

<b>USUARIO:</b> LILIANA RIOS <b>DIRECCIÓN:</b> CI PALMIRA <b>DEPTO:</b> VALLE <b>MUNICIPIO:</b> RESTREPO	<b>FINCA:</b> LA CABAÑA <b>ALTURA (a.s.n.m.):</b> PITAYA AMARILLA <b>CULTIVO:</b> COMPLETO <b>T. ANÁLISIS:</b>	
---	---	--

*Identificación Muestra	N° Lab.	Textura	pH	M.O. %	P mg/kg	S mg/kg	Al+H cmol/kg	Sat. Al %	Cationes de Cambio					Elementos Menores						
									Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	C.E. dS/m	Fe	Cu	Mn	Zn	B
SITO 1,2,3 (0-10)	2473	FAR	5,4	8,9	11,0	14,6	0,43	2	0,17	7,15	1,42	1,48	0,05	10,5	0,87	102	2,6	9,6	3,3	0,27
SITO 1,2,3 (10-20)	2474	A	5,6	6,2	0,9	20,7	0,32	0	0,00	4,87	0,99	0,73	0,07	7,0	0,37	73	1,1	4,6	0,9	0,16
SITO 1,2,3 (20-30)	2475	A	5,6	6,6	1,7	24,2	0,33	0	0,00	4,90	0,99	0,53	0,06	6,8	0,29	80	0,9	5,8	0,6	0,25

**Interpretación de Resultados**

2473	EA	Bajo	Medio	NL	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio
2474	MA	Bajo	Alto	NL	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Bajo	NS	Medio	Bajo
2475	MA	Bajo	Alto	NL	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Bajo	NS	Medio	Bajo

**Claves de Interpretación**

E.A.: Extremadamente Acido	Alc.: Alcalino	N.S.: No salino	F.S.: Fuertemente Salino	N.L.: No Limitante
M.A.: Moderadamente Acido	M.Alc.: Muy Alcalino	L.S.: Ligeramente Salino	M.F.S.: Muy Fuertemente Salino	LG.: Ligeramente Limitante
C.A.: Condición Adecuada	M.S.: Moderadamente Salino			N.D.: No Detectable

**Relaciones de Cationes**

N° Lab	Ca / Mg		Ca / K		Mg / K		(Ca + Mg) / K	
	Mg / K	Ca / K	Mg / K	Ca / K	Mg / K	Ca / K	(Ca + Mg) / K	
2473	5,0	4,8	1,0	5,8	67,9 %	13,5 %	14,0 %	0,5 %
2474	4,9	6,7	1,4	8,1	69,9 %	14,2 %	10,4 %	0,9 %
2475	5,0	9,3	1,9	11,2	72,1 %	14,5 %	7,8 %	0,9 %

**Porcentaje de Saturación de Cationes**

N° Lab	Ca		Mg		K		Na	
	Mg	K	Mg	K	Mg	K	Mg	K
2473	67,9 %	13,5 %	14,0 %	0,5 %	69,9 %	14,2 %	10,4 %	0,9 %
2475	72,1 %	14,5 %	7,8 %	0,9 %				

**Interpretación**

Ca / Mg	Valores ideales: 3 - 5
Ca / K	Valores ideales: 12 - 18
Mg / K	Valores ideales: 4 - 6
(Ca + Mg) / K	Valores ideales: 12 - 20

**Interpretación**

Ca	Medio
Mg	Exceso
K	Exceso
Na	Bajo

**Métodos de Análisis**

**Textura:** Tado: (A) Arena, (L) Limo, (Ar) Arcilla, (F) Franco

**pH:** Potenciométrico; relación suelo - agua 1:2,5

**M.O.:** Materia Orgánica (Walkley - Black Modificado)

**P:** Fósforo Disponible (Bray II)

**S:** Azufre Disponible (Fosfato Monocalcico)

**Al+H:** Acidez Intercambiable, KCl 1 N

**Cationes de Cambio (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>):** Acetato de Amonio 1M a pH 7,00

**CICE:** Capacidad de intercambio Catiónico Efectiva (Suma de Cationes)

**Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn):** Olsen Modificado


**B:** Boro (Fosfato Monocalcico)

**C.E.:** Conductividad Eléctrica (Conductimetría)

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada	21 de abril de 2009
Fecha de Salida	21 de mayo de 2009
 Yo. Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO	

# F. Anexo: Análisis físico químico de suelos Riofrío

**RESULTADO ANÁLISIS LABORATORIO QUÍMICA DE SUELOS**

USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
 DIRECCIÓN: CI PALMIRA  
 DEPTO: VALLE  
 MUNICIPIO: RIOFRÍO

FINCA: ALTURA (a.s.n.m.): PITAYA  
 CULTIVO: COMPLETO

T. ANÁLISIS: COMPLETO

Nº Lab.	Muestra	Textura	pH	M.O. %	P mg/kg	S cmol/kg	Al+H cmol/kg	Sat. Al %	Cationes de Cambio				C.E. dS/m	Elementos Menores					
									Ca	Mg	K	Na		Fe	Cu	Mn	Zn		
2958	S-RF-V-P1 (0-10)	Ar	5,2	5,6	2,4	4,6	0,00	0	7,07	3,62	0,68	0,04	11,4	0,42	177	7,2	46,3	3,3	0,25
2959	S-RF-V-P1 (10-20)	Ar	4,9	4,1	1,4	6,9	0,00	0	6,86	3,28	0,35	0,04	10,5	0,33	167	6,5	39,2	1,9	0,30
2960	S-RF-V-P1 (20-30)	Ar	4,9	3,3	1,4	6,2	0,00	0	6,86	2,83	0,12	0,04	9,8	0,25	114	5,5	33,9	1,2	0,12

**Interpretación de Resultados**

Contenido en el suelo	2958	EA	Bajo	Bajo	Bajo	NL	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
	2959	EA	Bajo	Bajo	NL	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
	2960	EA	Bajo	Bajo	NL	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo

**Claves de Interpretación**

N.S.: No salino  
 L.S.: Ligeramente Salino  
 M.S.: Moderadamente Salino  
 F.S.: Fuertemente Salino  
 M.F.S.: Muy Fuertemente Salino  
 N.L.: No Limitante  
 L.G.: Ligeramente Limitante  
 N.D.: No Detectable

**Relaciones de Cationes**

Nº Lab	Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	(Ca + Mg) / K
2958	2,0	10,3	5,3	15,6
2959	2,1	19,9	9,5	29,3
2960	2,4	58,0	23,9	81,8

**Interpretación**

Valores ideales: 3 - 5  
 Valores ideales: 12 - 18  
 Valores ideales: 4 - 6  
 Valores ideales: 12 - 20

**Porcentaje de Saturación de Cationes**

Ca	Mg	K	Na
61,9 %	31,7 %	6,0 %	0,4 %
65,2 %	31,2 %	3,3 %	0,4 %
69,7 %	28,7 %	1,2 %	0,4 %

**Interpretación**

Exceso	Exceso	Bajo
Ideal	Exceso	Bajo
Ideal	Deficiente	Bajo

El solicitante hará uso de los resultados.

**Métodos de Análisis**

Textura: Tacto: (A) Arena, (L) Limo, (Ar) Arcilla, (F) Franco  
 pH: Potenciométrico, relación suelo - agua 1:2,5  
 M.O.: Materia Orgánica (Walkley - Black Modificado)  
 P: Fósforo Disponible (Bray II)  
 S: Azufre Disponible (Fosfato Monocalcico)  
 Al+H: Acidez Intercambiable, KCl 1N

Cationes de Cambio (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>): Acetato de Amonio 1M a pH 7.00  
 CICE: Capacidad de Intercambio Cationico Efectiva (Suma de Cationes)  
 Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Oisen Modificado  
 B: Boro (Fosfato Monocalcico)  
 C.E.: Conductividad Eléctrica (Conductimetría)

Fecha de Entrada	15 de septiembre de 2009
Fecha de Salida	13 de octubre de 2009
 Yo. Bn. DIRECTOR DEL LABORATORIO	

## G. Anexo: Análisis foliar Palmira



USUARIO: LILIANA RIOS  
DIRECCION:

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: PALMIRA  
VEREDA:

FINCA: CI PALMIRA  
CULTIVO: PITAYA  
T. ANALISIS: COMPLETO

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
F-P-V-PITAYA	2117	0,56	0,50	1,93	2,28	0,77	0,25	143,4	0,7	30,0	43,4	70,8

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada		11/05/2009		Métodos de Análisis	
Fecha de Salida		00/01/1900		P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica)	
				S: Azufre Total (Turbimetría)	
				B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
				Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica	
				Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn):	
				Determinación por Absorción Atómica	
				N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	

*Yenny Rodriguez Giraldo*  
Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: PALMIRA  
VEREDA:

FINCA: PITAYA-AMARILLA  
CULTIVO: COMPLETO  
T. ANALISIS: COMPLETO

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
F-R-V-UNICA	2209	1,11	0,35	3,53	1,23	1,15	0,02	114,1	4,0	35,4	8,7	60,8

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada		20/10/2004		Métodos de Análisis	
Fecha de Salida		00/01/1900		P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica)	
				S: Azufre Total (Turbimetría)	
				B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
				Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica	
				Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn):	
				Determinación por Absorción Atómica	
				N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	

*Yenny Rodriguez Giraldo*  
Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO

## H. Anexo: Análisis foliares Riofrío



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RIO FRIO  
VEREDA:

FINCA: PITAYA-AMARILLA  
CULTIVO: COMPLETO  
T. ANALISIS:

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%				mg/kg						
F-RF-V-UNICA	2207	1,62	0,27	1,15	0,75	0,54	0,03	254,1	6,7	263,5	28,7	61,7

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada		20/10/2004		Métodos de Análisis	
Fecha de Salida		00/01/1900		P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
<i>Yenny Rodriguez Giraldo</i> Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO				Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RIO FRIO  
VEREDA:

FINCA: PITAYA-AMARILLA  
CULTIVO: COMPLETO  
T. ANALISIS:

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%				mg/kg						
F-RF-V-UNICA	2208	1,07	0,26	2,16	1,71	0,76	0,03	99,4	6,0	592,3	19,3	63,3

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada		20/10/2004		Métodos de Análisis	
Fecha de Salida		00/01/1900		P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
<i>Yenny Rodriguez Giraldo</i> Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO				Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RIO FRIO  
VEREDA:

FINCA: PITAYA  
CULTIVO: COMPLETO  
T. ANALISIS:

### RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%				mg/kg						
F-RF-V-UNICA	2248	1,04	0,34	2,82	4,42	1,41	0,02	113,4	5,3	931,8	56,0	46,0

El solicitante hará uso de los resultados.

Fecha de Entrada		10/11/2009		Métodos de Análisis	
Fecha de Salida		09/12/2010		P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
<i>Yenny Rodriguez Giraldo</i> Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO				Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	

# I. Anexo: Análisis foliares Restrepo



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RESTREPO  
VEREDA:

FINCA:  
CULTIVO: PITAYA  
T. ANALISIS: COMPLETO

## RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%										
		mg/kg										
F-R-V-UNICA	2185	1,10	0,23	1,83	1,84	0,45	0,19	186,1	5,3	72,0	45,4	8,1

El solicitante hará uso de los resultados.

Métodos de Análisis	
Fecha de Entrada	11/08/2009
Fecha de Salida	00/01/1900
P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	
Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO <i>Yenny Rodriguez Giraldo</i>	



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RESTREPO  
VEREDA:

FINCA:  
CULTIVO: PITAYA-AMARILLA  
T. ANALISIS: COMPLETO

## RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%										
		mg/kg										
F-R-V-UNICA	2205	0,72	0,36	1,37	0,19	0,35	0,10	254,1	3,3	226,1	116,1	131,1

El solicitante hará uso de los resultados.

Métodos de Análisis	
Fecha de Entrada	20/10/2004
Fecha de Salida	00/01/1900
P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	
Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO <i>Yenny Rodriguez Giraldo</i>	



USUARIO: ALEXANDER REBOLLEDO ROA  
DIRECCION: CI PALMIRA

DEPTO: VALLE  
MUNICIPIO: RESTREPO  
VEREDA:

FINCA:  
CULTIVO: PITAYA-AMARILLA  
T. ANALISIS: COMPLETO

## RESULTADOS DEL ANALISIS DE TEJIDO VEGETAL

*Identificación Muestra	No Lab.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		%										
		mg/kg										
F-R-V-UNICA	2206	0,76	0,26	1,82	1,12	0,44	0,03	168,1	4,0	168,8	66,0	102,8

El solicitante hará uso de los resultados.

Métodos de Análisis	
Fecha de Entrada	20/10/2004
Fecha de Salida	00/01/1900
P: Fósforo Total (Det. Colorimétrica) S: Azufre Total (Turbimetría) B: Boro (Determinación Colorimétrica)	
Ca, Mg, K, Al: Determinación por Absorción Atómica Elementos Menores (Cu, Fe, Mn, Zn): Determinación por Absorción Atómica N: Nitrógeno Total (Determinación Colorimétrica)	
Vo.Bo. DIRECTOR DEL LABORATORIO <i>Yenny Rodriguez Giraldo</i>	

## J. Tablas de análisis foliares de 25 frutales y *Opuntia ficus-indica*

Rangos de concentraciones adecuadas de nutrientes en tejidos foliares de diversas especies frutales (SIAR Limari)																					
Especie	% BMS										ppm										
	N		P		K		Ca		Mg		Fe	Mn		Zn		Cu	B				
	Rango		Rango		Rango		Rango		Rango		Rango	Rango		Rango		Rango	Rango				
1	Manzano rojo	2,00	2,40	0,20	0,20	1,30	1,80	1,00	2,00	0,30	0,40	80	200	20	100	20	50	4	20	30	70
2	Manzano verde	2,00	2,60	0,20	0,20	1,30	1,80	1,00	2,00	0,30	0,40	80	200	20	100	20	50	4	20	30	70
3	Manzano Spur	2,20	2,80	0,20	0,20	1,30	1,80	1,00	2,00	0,30	0,40	80	200	20	100	20	50	4	20	50	70
4	Peral	2,30	2,80	0,20	0,20	1,30	1,80	1,00	2,00	0,30	0,40	80	200	20	100	20	50	4	20	20	70
5	Duraznero	2,60	3,50	0,10	0,30	1,20	1,80	1,00	2,00	0,20	0,30	60	200	20	200	20	50	4	20	25	80
6	Nectarín	2,60	3,30	0,10	0,30	1,20	1,80	1,00	2,00	0,20	0,30	60	200	20	200	20	50	4	20	25	80
7	Damasco	2,50	3,00	0,10	0,30	1,20	1,80	1,20	2,00	0,20	0,30	60	200	20	200	20	50	4	20	30	70
8	Ciruelos	2,30	2,90	0,10	0,30	1,50	2,50	1,00	2,00	0,20	0,30	60	200	20	200	20	50	4	20	30	80
9	Guindo	2,00	3,00	0,10	0,30	1,00	1,80	1,20	2,00	0,30	0,40	60	200	20	200	20	50	4	20	30	70
10	Cerezo	2,20	2,60	0,10	0,30	1,00	1,80	1,40	2,40	0,30	0,40	60	200	20	200	20	50	4	20	20	60
11	Almendro	2,50	2,70	0,10	0,30	1,40	2,00	2,00	3,00	0,20	0,40	60	200	20	200	15	50	4	20	30	70
12	Limonero	2,00	2,50	0,10	0,20	0,80	1,50	3,00	5,00	0,20	0,50	60	200	25	250	25	300	6	25	30	250
13	Naranja	2,50	2,80	0,10	0,20	0,70	1,20	3,00	5,00	0,20	0,50	60	200	25	250	25	300	6	25	30	250
14	Mandarino	2,40	2,70	0,10	0,20	0,70	1,10	3,00	5,60	0,30	0,70	100	100	25	200	25	100	5	16	30	100
	Intervalos nutrimentales óptimos para cítricos (DRIS)	2,30	2,70	0,12	0,16	1,00	1,70	3,00	5,50	0,25	0,50	50	120	25	50	25	50	5	13	31	100
15	Aguacate Hass	2,00	2,40	0,10	0,20	0,80	2,00	1,00	2,00	0,40	1,00	50	900	50	700	30	200	5	24	30	90
16	Aguacate Fuerte	1,60	2,00	0,10	0,20	0,80	2,00	1,00	2,00	0,40	1,00	50	900	50	700	30	200	5	24	30	90
	DRIS Aguacate Fuerte hojas de 195 días - México	1,79		0,11		0,77		2,60		1,07		65		28		12					
17	Nogal	2,50	3,20	0,10	0,20	1,20	1,80	1,00	2,00	0,30	0,60	50	200	20	200	18	60	4	20	35	200
18	Kiwi	1,20	1,50	0,20	0,30	1,50	2,00	1,20	2,50	0,30	0,60	30	200	30	200	30	80	5	20	35	200
19	Olivo	1,50	2,00	0,10	0,30	0,80	1,50	1,00	2,00	0,10	0,30	50	200	20	200	10	60	4	20	20	150
20	Vid Vinífera	0,80	1,20	0,20	0,40	1,50	1,80	1,50	2,50	0,30	0,60	60	200	25	200	25	60	6	30	30	100
21	Frambueso	2,50	3,50	0,20	0,50	1,20	3,00	0,60	2,50	0,30	0,80	50	150	50	300	30	80	2	40	40	80
22	Frutilla	2,60	3,50	0,20	0,40	1,00	2,00	0,70	1,50	0,20	0,40	90	200	90	500	30	80	5	12	30	200
23	Arándano	1,80	2,20	0,20	0,40	0,30	0,70	0,40	0,80	0,10	0,40	60	350	50	450	8	75	5	90	30	150
24	Vid de mesa	1,80	2,40	0,20	0,20	1,20	1,20	1,50	1,50	0,25	0,25	50	50	30	30	30	30	4	4	40	60
	Promedio general	2,10	2,65	0,14	0,28	1,09	1,77	1,32	2,43	0,26	0,49	62,5	252,1	29,6	245,4	22,1	90,6	4,4	23,8	30,4	112,9
		2,37		0,21		1,43		1,88		0,37		157,29		137,50		56,38		14,08		71,67	

Zuñiga, R.; Orona, I.; Vázquez, C.; Murillo, B.; Salazar, E.; López, J.; García, J.; Rueda, E. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill en diferentes tratamientos de fertilización.

Opuntia	% BMS					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Mineral	2,30	0,30	6,24	5,38	1,07	172,60	33,13	29,30	17,00	
100 t/ha	2,45	0,56	6,58	5,04	1,37	179,70	39,66	44,80	18,90	
300 t/ha	2,57	0,59	5,97	3,69	1,39	130,60	33,53	39,10	18,30	
Testigo	2,24	0,38	6,02	4,82	1,38	139,70	29,30	32,00	14,70	
Nobel	2,61	0,33	1,18	6,33	1,43	88,00	54,00	52,00	15,00	

## K. Anexo: Tabla resumen de los análisis de suelos y foliares en las tres localidades.

S u e l o s	Riofrío		mg/K				cmol/k				mg/K											
			N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu		B	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Rango en los análisis de Suelos		1,04		1,40	5,00	0,12	0,68	6,86	12,84	2,83	4,38	51,00	177,00	4,00	46,30	1,00	3,30	3,90	7,80	0,01	0,37
	Promedio (Suelos)	Total	1,44		2,51		0,29		8,58		3,65		120,00		22,91		1,99		6,21		0,17	
		Corregido			2,04		0,17		7,80		3,79		136,20		27,82		2,12		6,76		0,25	
	Valor óptimo (Suelos)				40,00	100,00	0,50	0,80	6,00	15,00	3,00	6,00	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00	3,00	0,50	1,00	0,50	1,00

S u e l o s	Restrepo		mg/K				cmol/k				mg/K											
			N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu		B	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Rango en los análisis de Suelos				0,90	37,20	0,53	1,88	4,08	8,16	0,80	1,71	73,00	280,00	0,90	18,90	0,10	12,80	0,90	4,10	0,01	0,34
	Promedio (Suelos)	Total			9,62		1,05		5,74		1,23		188,62		6,94		4,11		2,57		0,20	
		Corregido			8,50		0,98		5,53		1,23		233,56		7,08		5,04		3,00		0,18	
	Valor óptimo (Suelos)				40,00	100,00	0,50	0,80	6,00	15,00	3,00	6,00	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00	3,00	0,50	1,00	0,50	1,00

S u e l o s	Palmira		mg/K				cmol/k				mg/K											
			N		P		K		Ca		Mg		Fe		Mn		Zn		Cu		B	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Rango en los análisis de Suelos				37,40	96,90	0,42	0,75	8,50	16,44	4,50	7,52	18,00	33,00	1,60	2,90	0,60	2,20	2,70	6,70	0,11	0,49
	Promedio (Suelos)	Total			60,40		0,57		10,84		5,80		25,40		2,08		1,32		4,50		0,21	
		Corregido			55,90		0,56		9,26		5,22		30,50		2,87		1,97		6,30		0,21	
	Valor óptimo (Suelos)				40,00	100,00	0,50	0,80	6,00	15,00	3,00	6,00	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00	3,00	0,50	1,00	0,50	1,00

F o l i a r e s	% BMS										mg/K					
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
	Nov 10 2009	1,04	0,34	2,82	4,42	1,41	113,40	913,80	56,00	5,30	46,00					Floración
	Marzo 14 (Promedio)	1,44	0,34	3,43	2,18	0,85	102,50	996,73	34,90	7,77	52,37					
	Restrepo															
	Promedio Nov 2009	1,01	0,37	1,99	2,40	0,43	139,75	139,70	79,75	4,30	43,30					Floración
	Mayo 10 de 2010	1,50	0,22	1,35	0,74	0,41	70,70	77,40	66,70	4,70	42,20					Floración
	Promedio 18 de oct de 2010	1,04	0,29	1,63	0,94	0,52	193,30	312,68	57,73	5,00	89,73					Llenado fruto
	Nov 29 de 2010	2,54	0,33	0,44	0,58	0,36	97,40	114,70	60,00	12,70	56,40					Llenado fruto
	Promedio 14 marzo de 2011	1,60	0,40	3,74	1,44	0,46	46,35	105,75	82,40	6,30	67,95					Floración
	Palmira															
	May 11 2009	0,56	0,50	1,93	2,28	0,77	143,40	30,00	43,40	0,70	70,80					Llenado fruto
	Nov 19 2010	1,11	0,35	3,53	1,23	1,15	114,10	35,40	8,70	4,00	60,80					Llenado fruto

Alto	Medio	Bajo
------	-------	------

## 7. Bibliografía

Alanís, G. J.; Velazco M, C. G. (2008). Importancia de las cactáceas como recurso natural en el Noroeste Mexicano. U. A. México, Ed. XI(01), 5 - 11.

Anderson, E. F. (2001). The Cactus Family. Portlan, Oregon: Timber Press, Inc.

Anderson, J. (2003). El estrés por alta temperatura en las plantas. En: Reigosa, M; Pedrol, N.; Sánchez, A., La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis (págs. 223-252). Madrid: Thomson.

Andrade, J. L., De La Barrera, E., Reyes-García, C., Ricalde, M. F., y Vargas-Soto, G. y. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas : diversidad, fisiología ambiental y productividad. Boletín de la Sociedad Botánica de México (81), 37-50.

Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., y Vargas-Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agroecosistema de Yucatán, México. Agrociencia, 687-697.

Andrade, J.; Rengifo, E.; Ricalde, M.; Simá, J.; Cervera, C. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agroecosistema de Yucatán, México. (C. d. Posgraduados, Ed.) Agrociencia, 6(40), 687-697.

Betancourt G, B., Toro M, J. C., Mosquera A, H. A., Castellanos R, J. C., Martínez C, R. M., Aguilera A. (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la pitaya amarilla en fresco en el Valle del Cauca. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Giro Editores Ltda.

Caetano, M. C. y Parra S, E. (2010). Guía ilustrada de la pitahaya amarilla en Colombia. 20. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

Ceja R, J., Espejo S, A., López-Ferrari, A. R., García-Cruz, J., Mendoza R, A., Pérez G, B. (2008). Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. Ciencias (91), 34-41.

Corporación Colombia Internacional. (1999). CCI. Perfil del producto. Pitaya amarilla. (CCI, Ed.) Bogotá.

Corporación Colombia Internacional. (Julio-Septiembre de 1999). Pitaya Amarilla. Boletín(5), 12.

Delgado, A., Kondo, T., Imbachi-López, K.; Quintero, E.; Manrique, M.; Medina S, J.A. (2010). Biología y algunos datos morfológicos de la mosca del botón floral de la pitaya amarilla *Dasiops saltans* (Towsend) (Diptera:Lonchaeidae) en el Valle del Cauca. Boletín del museo de entomología de la Universidad del Valle, 11(2), 10.

Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 215-219.

Gavande, S. (1982). Física de suelos. Principios y aplicaciones. México D.F., México: Limusa.

Gil-Marín, J., Rodríguez, R. y Jasso-Cantú, D. y. (Julio-Septiembre de 2006). Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. (U. A. México, Ed.) *TERRA Latinoamericana*, 24(3), 355-365.

Guardiola B, J. L., y García L, A. (1990). Fisiología vegetal. I. Nutrición y transporte. Madrid: Lavel S.A.

Hernández G, M.S. (1991). Análisis del crecimiento y desarrollo reproductivo de la pitaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw). 1991. Tesis de grado. 182 pp. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

Hernández L., F. (1991). Respuesta de la pitaya (*Selenicereus megalanthus* Schuman ex F. Vaupel) a la aplicación de tres hormonas en tres dosis y dos formas de aplicación. 1991. Tesis de grado. 62 pp. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

Hernández, M., Terrazas, T., Delgado, A., y Luna, M. (2007). Los estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart.ex. Pfeiff) Console (Cactaceae): Variación en su área de distribución. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 235-240.

Kiesling, R., y Ferrari, O. (2005). 100 cactus (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Albatros.

Larrea-Alcázar, D. E. (Enero-Marzo de 2008). Los cactus y un mundo de cambios climáticos. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de cactáceas y otras suculentas, 5(1), 8-10.

López, O., y Guido, A. (1998). Evaluación de dosis de nitrógeno y fósforo en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 66-71.

López, Y. (2000). Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Luna-Morales, C. (2007). Ordenación y clasificación morfológica del fruto de cultivares mixtecos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en México. Universidad Autónoma de Chapingo, Ed.) *Agrociencia*, XI(2), 10-16.

Maldonado, R.; Etchevers, J.D.; Alcantar, G.; Rodríguez, J.; Colinas, L. (2001). Estado nutricional del limón mexicano en suelos calcimórficos. *Terra latinoamericana*. Volumen 19, número 2. Abril-junio. Pp 164-174. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo.

Medina S., J. A. (1990). Estudio preliminar de las plagas de la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* M., en el departamento del Valle del Cauca. Trabajo de grado, 97.

Medrano, H.; Flexas, J. (2004). Relaciones hídricas de las plantas. En: Reigosa, M; Pedrol, N.; Sánchez, A., *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis* (págs. 1141-1174). Madrid: Thomson.

Meister, M., y Bolhar, H. (2004). Huellas epidérmicas: un método nuevo y rápido para contar estomas y células epidérmicas. En: Reigosa, M; Pedrol, N.; Sánchez, A., *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis* (págs. 183- 198). Madrid: Thomson.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2005). Apuesta exportadora agropecuaria. 2006-2020. 19. Bogotá, Colombia.

Montoya, R. A., Hernández, M. S., Clavijo P, J. (1991). Determinación de modelos matemáticos para medición de área fotosintética y peso seco en pitaya. *Sociedad Colombiana de control de malezas y fitopatología (Comalfi)*, 18(2), 6-11.

Nobel, P. S. (2002). *Cacti. Biology and uses*. (P. S. Nobel, Ed.) Los Angeles: University of California Press.

Nobel, P., y De La Barrera, E. (2004). CO<sub>2</sub> uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annal of applied biology* (144), 1-8.

Orrico, G. (2013). Respuesta de la pitaya amarilla (*Cereus triangularis*) a la aplicación complementaria de dos fertilizantes en tres dosis. Puerto Quito, Pichincha. *Tesis de grado*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

Parés-Martínez, J., Arizaleta, M., Sanabria, M. E., & Brito, L. (2004). Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función a la injertación en *Anona muricata* L. y *A. montana* Madfac. *Bioagro*, 16(3), 213-218.

Patiño R, V. M. (2007). Aproximación a la historia del neotrópico. Cali: Universidad del Valle - Biblioteca Departamental "Jorge Garces Borrero".

Patiño R., V. M. (2002). Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico. Cali, Colombia: CIAT.

Patishtán P, J., Rodríguez G, R. y Zavala G, F. y. (2010). Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. (S. M. fitogenética, Ed.) *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 305-314.

Potosí, C. T. (2002). Efecto de la aplicación de ácido giberélico GA3 en plantas de pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw) y tallos de yuca (*Manihot sculenta* Crantz). *Trabajo de grado*, 45. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Ramírez, C. (2002). Nutrición nitrogenada. En: Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. (pp 199-226). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Ramírez, H., Reyes, J., Pinos, J., y Aguirre, J. (2007). Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia*, 619-626.

Rodríguez, A., García, J., González, M., Jiménez, C., Morena, M., Pallares, L., Zárate, E. (1993). El cultivo de pitahaya en Yucatán. Maxcanú, Yucatán.

Raveh, E., Nerd, A., y Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Scientia Horticulturae*(73), 151-164.

Reigosa, M.; Nuria, P. (2004). La ecofisiología vegetal. En: Reigosa, M; Pedrol, N.; Sánchez, A., La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis (págs. 1-57). Madrid: Thomson.

Sadeghian, S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición del café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almacigo. Tesis doctorado en Ciencias Agropecuarias. Área agraria. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Salazar-García, S. (2002). Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto Nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP). Instituto de la potasa y el fósforo A.C. México D.F.

Sánchez-Díaz, M; Irigoyen, J.J.; Gómez-Casanovas, N; Pardo, A y Azcón-Bieto, J. (2002). El cambio climático global, efecto previsible del CO<sub>2</sub> sobre los vegetales . En: Reigosa, M; Pedrol, N.; Sánchez, A., La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis (págs. 1111-1140). Madrid: Thomson.

Sánchez, C., Fischer, G., y Sanjuanelo, D. (2013). Stomatal behavior in fruits and leaves of the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) and fruits and cladodes of the yellow pitaya (*Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer). *Agronomía Colombiana*, 31(1).

[48] Suárez, R. S. (2011). Evaluación de métodos de propagación en pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (Haw.) Britt & Rose y Pitahaya roja, *Hylocereus polyrhizus* (Haw.) Britt & Rose. Tesis. Palmira, Valle del Cauca.

Terrazas, T., y Mauseth, J. (2002). Shoot anatomy and morphology. En P. S. Nobel, y P. S. Nobel (Ed.), *Cacti Biology and uses* (págs. 23-40). Los Angeles: University California Press.

Vasquez P., S. I., y Vega L., J. (1992). Respuesta de la pitaya (*Selenicereus megalanthus* ex F. Vaupel) a la fertilización edáfica en la región de Tena (Cundinamarca). 75. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Villalobos R, E. (2001). Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Villalobos R., E. y Killorn, R. (2002) En: Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Procesos fisiológicos básicos. Fascículo I. (pp 159-197). San José, Costa Rica: Universidad de Costarrica.

Wallace, R. S., Gibson, A. C. (2002). Evolution and sistematics. En P. S. Nobel, Cacti. Biolgy and uses (págs. 1-22). Los Ángeles: University of California Press.

Zuñiga, R.; Orona, I.; Vázquez, C.; Murillo, B.; Salazar, E.; López, J.; García, J.; Rueda, E. (2009). Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill en diferentes tratamientos de fertilización. Universidad Autónoma de Nuevo León; Universidad Juárez del estado de Durango; Centro de Investigaciones Biológicas del noroeste; Universidad de Sonora. Journal of the Profesional Asociation for Cactus Development. Volumen 11 (53-63)