

**CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA DE *Rubus glaucus* EN FUNCIÓN DEL  
CRECIMIENTO PRODUCTIVO Y DEL MICROAMBIENTE, EN EL  
CORREGIMIENTO EL ENCANO-NARIÑO (COLOMBIA)**

**EDWIN GIOVANNY BELTRÁN URBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO  
2015**

**CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA DE *Rubus glaucus* EN FUNCIÓN DEL  
CRECIMIENTO PRODUCTIVO Y DEL MICROAMBIENTE, EN EL  
CORREGIMIENTO EL ENCANO-NARIÑO (COLOMBIA)**

**Estudiante de pregrado:  
Edwin Giovanni Beltrán Urbano**

**Asesor:  
María Elena Solarte Cruz  
Ph. D. en Ciencias Biológicas**

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de Biólogo  
Modalidad Trabajo de Investigación**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
SAN JUAN DE PASTO**

**2015**

“Las ideas y conclusiones aportados en el trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1° del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

-----

-----

-----

-----

Director

María Elena Solarte Cruz

Ph.D. En Biología

-----

Jurado

Ayda Lucía Patiño Chávez

M.Cs. En Biología Línea Sistemática

-----

Jurado

Hernando Criollo Escobar

Ph.D. En Ciencias Agropecuarias

-----

## **DEDICATORIA**

“Al inmenso esfuerzo que realizan mis padres día a día para permitir que mis hermanos y mi persona nos formemos académicamente, teniendo en siempre presente el servir a la sociedad. Y al apoyo constante, a sus consejos de perseverancia, ética y moral”

Edwin Beltrán Urbano

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Carlos Beltrán y María Urbano, por haberme apoyado en este proyecto de vida. A Dios por haberme permitido tener a padres tan maravillosos. A mis hermanos, Fabio Beltrán, Carlos Beltrán y Mónica Beltrán por su constante apoyo y permanencia. Y a todos mis tíos, tías, primas y primos que de alguna u otra manera aportaron en mi formación académica.

Este proyecto fue parte de un macro proyecto titulado “Caracterización ecofisiológica de cultivos de mora en El Encano”, a cargo de la docente María Elena Solarte Cruz. Entonces, gracias a la VIPRI por la financiación del proyecto y a la profesora María Solarte por dejarme hacer parte del mismo y gracias por sus recomendaciones y aportes realizados.

A los docentes Ayda Lucía Patiño, Hernando Criollo y Paula Martínez por haber aceptado ser parte de este proceso y por sus contribuciones y recomendaciones.

A todos los docentes del departamento de Biología por haber sido parte de mi formación investigativa. En especial a los docentes Álvaro Pazos y Belisario Cepeda a quien considero un par de amigos más.

A todas las personas con quien empecé y fui conociendo cada vez más a lo largo de esta formación profesional, con quienes compartí momentos inolvidables.

A la señora Alba Rosero, dueña del cultivo de mora de la localidad de Motilón, y al señor Rafael Jojoa, dueño del cultivo de mora de la localidad de San José. Gracias a ellos por su colaboración, amabilidad y hospitalidad.

A todo el personal de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño y a todas las personas que hacen parte de la comunidad universitaria.

## RESUMEN

*Rubus glaucus*, mora de Castilla, es la especie frutal más cultivada a nivel nacional y regional, en el departamento de Nariño cultivada principalmente en norte y oriente entre los 1800 y los 3400 msnm. A pesar de la importancia para la economía de muchas familias de la región Andina y de la gran demanda nacional, muy pocos estudios fisiológicos existen sobre variedades de tierras altas tropicales. Por esta razón, es necesario evaluar las respuestas fisiológicas de *R. glaucus* y los atributos de calidad de sus frutos en diferentes momentos de un ciclo productivo, y en relación al microambiente en el corregimiento del Encano-Nariño. Los resultados mostraron que en la localidad de Motilón un botón floral requiere un mayor número de días y un mayor número de grados-día acumulados para llegar al estado de fruto morado, que lo encontrado en San José. La especie *Rubus glaucus*, presenta características semejantes en el crecimiento vegetativo, aunque no en los rasgos fisicoquímicos de los frutos, en las localidades de San José y Motilón. Resulta importante mencionar que los frutos rojos y morados de *R. glaucus* de las localidades de Motilón y San José presentan contenidos importantes de ácido ascórbico y cítrico, siendo este último el predominante, lo que les da un valor agregado de importancia para la industria de alimentos. Finalmente, los análisis de correlación y regresión paso a paso indicaron que los factores temperatura, déficit de presión de vapor y humedad relativa inciden en las respuestas de rendimiento (g-frutos/rama), y en las características químicas de los frutos, como ácido oxálico, azúcares totales, pH, sólidos solubles totales y acidez total titulable.

**Palabras clave:** ecofisiología, sólidos solubles totales, carbohidratos totales, ácidos orgánicos, acidez total, pH, índice de madurez.

## ABSTRACT

*Rubus glaucus*, mora de Castilla, is the most cultivated fruit specie at national and regional level, in the department of Nariño cultivated mainly in the north and east between 1800 and 3400 m. Despite the importance to the economy of many families in the Andean region and the high demand nationwide, there are very few physiological studies on varieties of tropical highlands. For this reason, it is necessary to evaluate the physiological responses of *R. glaucus* and quality attributes of fruit at different times of a production cycle and in relation to the microenvironment in the village of Encano-Nariño. The results showed that in the town of Motilón a floral button requires a greater number of days and a greater number of degree-days accumulated to achieve the status of purple fruit, unlike San Jose. The specie *Rubus glaucus*, shows similar characteristics in vegetative growth, although not in the physicochemical characteristics of the fruit, in the towns of San José and Motilón. Is important to mention that red and purple fruits of *R. glaucus* from the towns of San José Motilón and present important content of ascorbic and citric acid, the latter being predominant, which gives them an added value of importance to the food industry. Finally, the correlation analysis and stepwise regression indicated that the factors temperature, vapor pressure deficit and relative humidity affect yield responses (g-fruits / branch), and the chemical characteristics of the fruits, such as oxalic acid, total sugars, pH, total soluble solids and acidity.

**Keywords:** ecophysiology, total soluble solids, total carbohydrates, organic acids, Total acidity, pH, maturity index.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|       |                                                                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUCCION -----                                                                                            | 1  |
| 2     | PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO Y DEL PROBLEMA -----                                                               | 3  |
| 2.1   | Pregunta de investigación -----                                                                               | 5  |
| 2.2   | Hipótesis -----                                                                                               | 5  |
| 2.3   | Objetivos -----                                                                                               | 5  |
| 2.3.1 | Objetivo general: -----                                                                                       | 5  |
| 2.3.2 | Objetivos específicos:-----                                                                                   | 6  |
| 3     | JUSTIFICACIÓN-----                                                                                            | 7  |
| 4     | MARCO TEORICO -----                                                                                           | 9  |
| 4.1   | Ecofisiología vegetal, respuestas fisiológicas y morfológicas de las plantas ante el ambiente. -----          | 9  |
| 4.1.1 | Área foliar específica (SLA)-----                                                                             | 11 |
| 4.1.2 | Azucares o hidratos de carbono -----                                                                          | 12 |
| 4.1.3 | Nitrógeno foliar-----                                                                                         | 12 |
| 4.2   | Factores ambientales incidentes sobre la fisiología, morfología, desarrollo y crecimiento de la planta. ----- | 13 |
| 4.2.1 | Agua y Nutrientes presentes en el suelo -----                                                                 | 14 |
| 4.2.2 | Humedad atmosférica-----                                                                                      | 15 |
| 4.2.3 | Radiación lumínica-----                                                                                       | 15 |
| 4.2.4 | Temperatura -----                                                                                             | 16 |
| 4.3   | Aspectos botánicos de <i>R. glaucus</i> -----                                                                 | 18 |
| 4.4   | Hábito de crecimiento y producción de <i>R. glaucus</i> -----                                                 | 18 |
| 4.5   | Fruto de <i>R. glaucus</i> -----                                                                              | 19 |
| 4.6   | Fenología de <i>R. glaucus</i> -----                                                                          | 20 |
| 4.7   | Requerimientos climáticos y edáficos de <i>R. glaucus</i> -----                                               | 21 |
| 4.8   | Prácticas culturales realizadas sobre <i>R. glaucus</i> -----                                                 | 22 |
| 5     | ANTECEDENTES -----                                                                                            | 24 |
| 6     | MATERIALES Y METODOS -----                                                                                    | 27 |
| 6.1   | Área y Material de estudio-----                                                                               | 27 |
| 6.2   | Determinación de variables ambientales -----                                                                  | 29 |

|        |                                                                                                                                                                                                                             |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3    | Metodología Objetivo 1: Determinar las características fisiológicas que presenta <i>R. glaucus</i> durante un ciclo de crecimiento productivo en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano----- | 30 |
| 6.4    | Metodología Objetivo 2: Analizar características físicas, bioquímicas y de calidad, en frutos de <i>R. glaucus</i> , en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano-Nariño -----                  | 33 |
| 6.5    | Análisis estadístico -----                                                                                                                                                                                                  | 34 |
| 7      | RESULTADOS Y DISCUSION -----                                                                                                                                                                                                | 37 |
| 7.1    | Variables ambientales -----                                                                                                                                                                                                 | 37 |
| 7.2    | Descripción de la fenología productiva de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                        | 40 |
| 7.3    | Fenología de <i>Rubus glaucus</i> en las localidades de Motilón y San José-----                                                                                                                                             | 42 |
| 7.4    | Crecimiento vegetativo de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                        | 46 |
| 7.4.1  | Ramas macho de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                                   | 48 |
| 7.4.2  | Ramas hembra de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                                  | 51 |
| 7.4.3  | Ramas látigo de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                                  | 55 |
| 7.5    | Dinámica de producción de ramas nuevas en <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                        | 60 |
| 7.6    | Contenido foliar de Clorofila a, Clorofila b, Clorofila total y Carotenoides, Azúcares totales y Nitrógeno en <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                    | 62 |
| 7.7    | Nitrógeno en tejido foliar de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                    | 65 |
| 7.8    | Carbohidratos totales en tejido foliar de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                        | 68 |
| 7.9    | Producción de frutos de <i>Rubus glaucus</i> .-----                                                                                                                                                                         | 70 |
| 7.10   | Crecimiento de frutos de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                                         | 74 |
| 7.10.1 | Curvas de crecimiento basadas en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                     | 75 |
| 7.10.2 | Curvas de crecimiento del fruto de <i>Rubus glaucus</i> basadas en el peso fresco y seco                                                                                                                                    | 77 |
| 7.11   | Contenido de agua en el fruto de <i>Rubus glaucus</i> durante las etapas de fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado -----                                                                                      | 82 |
| 7.12   | Contenido de ácidos orgánicos en frutos de <i>Rubus glaucus</i> -----                                                                                                                                                       | 84 |
| 7.13   | Sólidos Solubles totales (°Brix)-----                                                                                                                                                                                       | 88 |
| 7.14   | Acidez Total Titulable (ATT) -----                                                                                                                                                                                          | 90 |
| 7.15   | pH -----                                                                                                                                                                                                                    | 92 |
| 7.16   | Carbohidratos totales -----                                                                                                                                                                                                 | 94 |
| 7.17   | Índice de madurez -----                                                                                                                                                                                                     | 95 |

|                         |                                                                                                                   |     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.18                    | Correlaciones y regresiones de características fisiológicas de <i>Rubus glaucus</i> y variables ambientales ----- | 98  |
| 7.19                    | Correlaciones y Regresiones de características del fruto de <i>Rubus glaucus</i> y variables ambientales -----    | 100 |
| CONCLUSIONES -----      |                                                                                                                   | 103 |
| RECOMENDACIONES -----   |                                                                                                                   | 105 |
| LITERATURA CITADA ----- |                                                                                                                   | 106 |
| ANEXOS -----            |                                                                                                                   | 122 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. A. Ubicación del Departamento de Nariño en el mapa de Colombia. B. Ubicación del corregimiento El Encano en el mapa de Nariño .....                                                                                                                                                                       | 28 |
| Figura 2. Ubicación de las veredas San José (SJ) y Motilón (M), en el corregimiento de El Encano - Nariño.....                                                                                                                                                                                                      | 29 |
| Figura 3. Tendencia de la Temperatura ambiente (°C) en las localidades de Motilón y San José. Promedios semanales con error estándar .....                                                                                                                                                                          | 37 |
| Figura 4. Tendencia de la Humedad relativa (%) en las localidades de Motilón (MT) y San José (SJ). Promedios semanales con error estándar .....                                                                                                                                                                     | 38 |
| Figura 5. Tendencia del Déficit de presión de vapor DPV (KPa) en las localidades de Motilón (MT) y San José (SJ). Promedios semanales con error estándar .....                                                                                                                                                      | 38 |
| Figura 6. Estados fenológicos descritos para <i>Rubus glaucus</i> con el correspondiente estado según la escala BBCF. Botón (B), Flor abierta (FA), Flor senescente (FS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) .....                                        | 41 |
| Figura 7. Duración de cada estado de desarrollo evaluado para <i>Rubus glaucus</i> en San José (SJ) y Motilón (MT): Botón (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) .....                                        | 43 |
| Figura 8. Curva de crecimiento vegetativo basado en Área foliar total (cm <sup>2</sup> ) de ramas macho de <i>Rubus glaucus</i> en las localidades de Motilón (R <sup>2</sup> =0,54) y San José (R <sup>2</sup> =0,73). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación..... | 48 |

Figura 9. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco foliar total (g) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,54$ ) y San José ( $R^2=0,74$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 49

Figura 10. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,87$ ) y San José ( $R^2=0,70$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 50

Figura 11. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco (g) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,84$ ) y San José ( $R^2=0,87$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 51

Figura 12. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,90$ ) y San José ( $R^2=0,76$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 52

Figura 13. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco foliar total (g) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,92$ ) y San José ( $R^2=0,71$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 53

Figura 14. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,98$ ) y San José ( $R^2=0,68$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 54

Figura 15. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Peso seco (g) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,87$ ) y San José ( $R^2=0,92$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación. .... 55

Figura 16. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,75$ ) y San José ( $R^2=0,92$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 56

Figura 17. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Peso seco foliar total (g) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,74$ ) y San José ( $R^2=0,90$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 56

Figura 18. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,83$ ) y San José ( $R^2=0,56$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación ..... 57

Figura 19. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco (g) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,80$ ) y San José ( $R^2=0,98$ ). En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación ..... 58

Figura 20. Producción de ramas nuevas con error estándar, en ramas macho (RM), ramas látigo (RL) y ramas hembra (RH) de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón y San José ..... 61

Figura 21. Contenidos de Clorofila a (Cla), Clorofila b (Clb), Clorofila total (Clt) y Carotenoides (Crt) en tejido foliar, con error estándar, en las distintas etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto mauro (FM) de *Rubus glaucus* en la localidad de Motilón. .... 63

Figura 22. Contenidos de Clorofila a (Cla), Clorofila b (Clb), Clorofila total (Clt) y Carotenoides (Crt) en tejido foliar, con error estándar, en las distintas etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto mauro (FM) de *Rubus glaucus* en la localidad de San José.....64

Figura 23. Valores de referencia para tejido foliar de contenido de Nitrógeno (g/100g) de los cultivares de *Rubus glaucus* de las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT), para las etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP) y Fruto morado (FM). Resultados del análisis practicado en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño .....66

Figura 24. Valores de referencia para tejido foliar de contenido de Carbohidratos totales (g/100g) de los cultivares de *Rubus glaucus* de las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT), para las etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP) y Fruto morado (FM). Resultados del análisis practicado en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.....69

Figura 25. Producción expresada en Número de frutos/planta, con error estándar, en las etapas fenológicas: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM) de *Rubus glaucus* en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT).....72

Figura 26. Producción expresada en Gramos/planta con error estándar, en las etapas fenológicas: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM) de *Rubus glaucus* en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT).....72

Figura 27. Curva de crecimiento basado en el diámetro ecuatorial ( $R^2=0,96$ ) y polar ( $R^2=0,89$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora

de Castilla) en la localidad de San José. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación..... 76

Figura 28. Curva de crecimiento basado en el diámetro ecuatorial ( $R^2=0,86$ ) y polar ( $R^2=0,95$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) en la localidad de Motilón. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación..... 77

Figura 29. Curva de crecimiento basado en el peso fresco ( $R^2=0,99$ ) y peso seco ( $R^2=0,99$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) de la localidad de San José. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación..... 78

Figura 30. Curva de crecimiento basado en el peso fresco ( $R^2=0,80$ ) y peso seco ( $R^2=0,95$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) de la localidad de Motilón. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación..... 79

Figura 31. Variación del contenido de agua (g) con error estándar en las diferentes etapas fenológicas de frutos de *Rubus glaucus*: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM), en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)..... 83

Figura 32. Contenido de ácido cítrico, málico, ascórbico y oxálico (mg/100g) con error estándar, en los diferentes estados fenológicos de *Rubus glaucus*: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR), fruto morado (FM), en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)..... 86

Figura 33. Solidos solubles totales (°Brix) con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)..... 88

Figura 34. Acidez total titulable, % de ácido cítrico, con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT) ..... 90

Figura 35. pH con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT) ..... 93

Figura 36. Azúcares totales con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT) ..... 94

Figura 37. Índices de madurez de frutos de *Rubus glaucus* procedentes de las localidades de San José y Motilón, en las etapas fenológicas fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM). ..... 96

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Análisis químico de la fertilidad del suelo en los cultivares de San José y Motilón (Resultados del análisis practicado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Nariño).....                                      | 39  |
| Tabla 2. Grados-Día acumulados (GDA) y error estándar (EE), necesarios para completar cada etapa fenológica evaluada en <i>Rubus glaucus</i> en las localidades de Motilón y San José de El Encano, Pasto Nariño, (Tb=5,84°C). .... | 44  |
| Tabla 3. Análisis de correlación, entre variables ambientales y fisiológicas de cultivares de <i>Rubus glaucus</i> ,.....                                                                                                           | 98  |
| Tabla 4. Modelo de regresión lineal paso a paso de los rasgos fisiológico de <i>Rubus glaucus</i> , contempladas en el objetivo 1, dependientes de factores ambientales específicos. ....                                           | 99  |
| Tabla 5. Análisis de correlación, entre variables ambientales y fisicoquímicas de los frutos de <i>Rubus glaucus</i> , contempladas en el objetivo 2. ....                                                                          | 101 |
| Tabla 6. Modelo de regresión lineal paso a paso de los rasgos fisiológicos de <i>Rubus glaucus</i> , contempladas en el objetivo 2, dependientes de factores ambientales específicos. ....                                          | 101 |

## ANEXOS

Anexo A. Ecuaciones de regresión lineal y valores de correlación ( $R^2$ ) del cultivar de Motilón (MT) y San José (SJ), para el cálculo de área foliar (AF) y peso seco foliar (PS) de ramas de *Rubus glaucus*, considerando relaciones con eje transversal (LHH); eje longitudinal (LVH) y el producto de los ejes. Ejes expresados en cm, peso seco foliar en gr y área foliar en  $\text{cm}^2$ ..... 122

Anexo B. Ecuaciones de regresión lineal y valores de correlación ( $R^2$ ), para el cálculo de peso fresco (PF) y peso seco (PS) de ramas de *Rubus glaucus* de San José y Motilón, considerando relaciones con longitud (L) y diámetro basal (DB). Pesos expresados en g, longitud en cm y diámetro basal en mm..... 123

Anexo C. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: número de días de las distintas etapas fenológica evaluadas sobre *Rubus glaucus*. .... 123

Anexo D. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Grados-Día acumulados de las distintas etapas fenológicas evaluadas sobre *Rubus glaucus*. .... 123

Anexo E. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Área foliar total de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*..... 124

Anexo F. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Peso seco foliar total de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*. .... 124

Anexo G. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Área foliar específica de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*. .... 124

Anexo H. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Peso seco de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*..... 125

|                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo I. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Producción de ramas nuevas de cada tipo de rama de <i>Rubus glaucus</i> . .....                                                                                                    | 125 |
| Anexo J. Análisis de varianza de dos factores, Número de frutos/planta en las etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                                           | 125 |
| Anexo K. Análisis de varianza de dos factores, Gramos-frutos/planta en las etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                                              | 126 |
| Anexo L. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila a en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                                | 126 |
| Anexo M. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila b en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                                | 126 |
| Anexo N. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila total en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                            | 127 |
| Anexo O. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de carotenoides en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> en las localidades de Motilón y San José (ANOVA paramétrica). ..... | 127 |
| Anexo P. Análisis de varianza de dos factores, % de Humedad en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                                            | 127 |

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo Q. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido oxálico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....   | 128 |
| Anexo R. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido málico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....    | 128 |
| Anexo S. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido cítrico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....   | 128 |
| Anexo T. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido ascórbico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). ..... | 129 |
| Anexo U. Análisis de varianza de dos factores, pH en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....                           | 129 |
| Anexo V. Análisis de varianza de dos factores, Acidez total titulable en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....       | 129 |
| Anexo W. Análisis de varianza de dos factores, Sólidos solubles totales en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....     | 130 |
| Anexo X. Análisis de varianza de dos factores, Carbohidratos totales en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de <i>Rubus glaucus</i> -Localidad (ANOVA paramétrica). .....        | 130 |

## GLOSARIO DE TERMINOS

° **Brix:** indica el porcentaje de concentración de los sólidos solubles contenidos en una solución, por ejemplo jugo de fruta. El contenido de los sólidos solubles es el total de todos los sólidos disueltos en el agua, como: azúcar, sales, proteínas, ácidos, etc. El instrumento empleado para esto es el refractómetro.

**Carbohidratos totales:** los carbohidratos, también conocidos como glúcidos, hidratos de carbono y sacáridos son aquellas moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno que resultan ser la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía. En la naturaleza se encuentran carbohidratos de diferente número de carbonos y distintos grupos funcionales o sustituyentes, lo que da origen a distintos tipos de azúcares, tales como las aldosas, cetosas, azúcares acetilados, benzoesterificados y metilados, azúcares ácidos, glucósidos y anhidroazúcares.

**Ácidos orgánicos:** son aquellos compuestos que resultan de la oxidación de los alcoholes primarios o de la oxidación moderada de los aldehídos. Comprenden una variedad de ácidos que se concentran por lo general en los frutos de numerosas plantas y son ampliamente utilizados en la industria alimentaria como aditivos. Como su nombre lo dice son compuestos orgánicos que poseen al menos un grupo ácido, entre los cuales tenemos: ácido cítrico, málico, oxálico, fórmico, acético, tartárico, salicílico, y los grasos.

**Acidez titulable:** es la cantidad total de ácido en una solución determinada o indicador que expresa el contenido de ácidos libres en una matriz, el cual se expresa como el porcentaje del ácido predominante de la matriz, en el caso de los frutos ácido cítrico. Dicha acidez puede incluir la acidez natural y la desarrollada.

**pH:** el instrumento empleado es el pH-metro que es de carácter electroquímico, el cual permite determinar las diferencias de potencial electroquímico, dando como resultado el potencial de hidrógeno (pH), el cual es una expresión de la acidez de una solución acuosa.

**Índice de madurez en frutas:** este índice se realiza para asegurar una calidad mínima aceptable para el consumidor y una larga vida de almacenamiento. Estos índices son importantes para la regulación del comercio, la estrategia de comercialización y el uso eficiente de la mano de obra y recursos.

## 1 INTRODUCCION

El desempeño fisiológico de una planta depende de las condiciones ambientales y sus características genéticas, que favorecen el crecimiento, desarrollo y la reproducción del individuo (Begon, 2006). Algunas plantas son más eficientes para captar la luz, absorber, retener el agua, desarrollar tasas de crecimiento en temperaturas adecuadas y capturar nutrientes del suelo (Casper, 2011).

En plantas cultivadas, el desarrollo final y su producción dependen de su constitución genética como el vigor y la productividad, esta capacidad productiva está condicionada a sus posibilidades de adaptación a determinadas condiciones ecológicas (Fischer et al., 2009) de tal manera que una combinación optima de las condiciones ambientales y una adecuada disponibilidad de recursos como agua y otros factores bióticos como la presencia de polinizadores y plagas pueden condicionar el cultivo.

EL aspecto más difícil de analizar es el clima por estar integrado por varios factores que cambian continuamente durante el ciclo de crecimiento de un cultivo, en general todos los aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas son influenciados directa o indirectamente por variables ambientales. En microclimas muy marcados pueden formarse ecotipos que son un grupo de plantas de la misma especie adaptadas genéticamente a su hábitat; las diferencias entre los ecotipos son de carácter fisiológico o morfológico (Fischer et al., 2009).

El rendimiento de un cultivo en términos de calidad y cantidad está determinado por las condiciones ambientales de la localidad y las prácticas de manejo. Las condiciones climáticas influyen sobre el crecimiento de la planta, su fenología, el tiempo del desarrollo y maduración de frutos (Barbazán, 1998; Rivera et al., 2005).

La mora es una planta de origen silvestre, en todo el mundo existen alrededor de 400 especies agrupadas en el género *Rubus* (Montalvo, 2010). La especie *Rubus glaucus* o “mora de Castilla” descubierta por Hartweg y descrita por Benthham es la especie frutal más

cultivada a nivel nacional y regional, presenta una alta variabilidad en tamaño, color y calidad de la infrutescencia (Moreno, Villarreal, Lagos, Ordoñez, & Criollo, 2012). Es una importante fuente de entradas económicas para regiones de ladera de Colombia y tiene un gran valor nutricional por sus contenidos de Vitamina C y otros ácidos orgánicos, fibra y aporte de nutrientes como calcio, hierro, potasio; a sí mismo es una fuente rica de polifenoles como el agiotanino y antocianinas (Garcia, Vilorio-Matos, Belen, & Moreno-Alvarez, 2003).

En el departamento de Nariño *Rubus glaucus* es una única especie sostiene la producción y el mercado de la región, se cultiva principalmente el norte y oriente del departamento entre los 1800 y los 3400 metros de altura (Moreno et al., 2012), pero con un mejor rendimiento entre los 1800 y 2400 metros (Montalvo, 2010). A pesar de la importancia que tiene la mora de Castilla para la economía de muchas familias de la región Andina, y a pesar de la gran demanda que existe para cubrir el mercado nacional, muy pocos estudios fisiológicos existen en Colombia, especialmente sobre cultivares de tierras altas tropicales, razón por la cual este estudio se realizó con el fin de evaluar las respuestas fisiológicas de *R. glaucus* y los atributos de calidad de sus frutos durante un ciclo productivo, y su relación con el microambiente en dos localidades del corregimiento El Encano (Nariño).

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO Y DEL PROBLEMA**

El cultivo de la mora en Colombia es un importante renglón frutícola debido a que es una fuente de ingresos económicos y empleos para regiones andinas y altoandinas (Jiménez, et al. 2009). Por otra parte esta especie presenta un gran valor nutricional por sus contenidos de ácidos orgánicos, vitamina C, fibra, Ca, Fe, K, polifenoles y antocianinas (Gonzáles, 2010).

La mora ha sido catalogada en el plan frutícola Nacional (PFN) como una de las 20 frutas zonificadas para la región occidental de Colombia, especialmente Nariño, por otra parte el cultivo de productos hortofrutícolas entre ellas la mora fue una de las líneas priorizadas en el plan de competitividad del departamento de Nariño.

El área de producción de mora en Nariño ha tenido una tendencia de crecimiento de 200 a 750 Ha en los últimos diez años; sin embargo esta extensión del cultivo es baja comparada con otros departamentos como Cundinamarca, Antioquia y Boyacá que llegan a las 3000 Ha, así mismo el rendimiento promedio de 5 Ton/Ha está muy por debajo de los promedios nacionales que pueden llegar a 12 Ton/Ha (Agronet, 2014). Estos indicadores unidos a que en Nariño y en el Encano existe una baja oferta de genotipos o que los cultivares no han sido caracterizados en cuanto a su origen, requerimientos, formas de manejo, puede poner en riesgo el sistema de cultivo.

Estudiar las plantas en su ambiente natural, genera información sobre el desempeño y/o adaptabilidad de las mismas, que podría traducirse en un mejor desarrollo productivo y rendimiento o calidad del fruto, (Lüttge y Scarano, 2004).

La manera en que las plantas responden a determinadas condiciones ambientales (temperatura, radiación, humedad atmosférica) es a través de procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, relaciones hídricas y crecimiento (Jiménez, et al., 2009; Luttge y Scarano, 2004; Manes, et al., 1997). Las diferentes respuestas fisiológicas, revelan información sobre

las estrategias adaptativas de la especie vegetal y permiten determinar las condiciones de hábitat favorables para su establecimiento, (Aleric y Kirkman, 2005; Manes, et al., 1997).

A su vez los factores ambientales como la temperatura, la radiación y la humedad atmosférica, junto con las características edáficas influyen sobre todos los aspectos del desarrollo de las plantas y pueden ser limitantes para su crecimiento (Casper, 2011). En relación a lo anterior para las plantas los diferentes recursos nutricionales (N, P, K, Ca, Mg, S, etc.) pueden ser limitantes para su desarrollo, sin embargo las plantas tratan de maximizar su crecimiento a través de la optimización de la eficiencia en el uso de recursos para la adquisición y la asignación de los mismos, por lo tanto pueden ajustar su morfofisiología a épocas o zonas dependiendo de la disponibilidad de los mismos (Casper, 2011). De esta manera los estudios ecofisiológicos permiten entender los mecanismos de las plantas para adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas, y con esto determinar cultivares de especies que presenten una mejor repuesta ante el ambiente, traducida en eficiencia y alto rendimiento productivo (Moreno et al., 2012).

En estudios previos del grupo de investigación Biología de páramos y ecosistemas andinos de la Universidad de Nariño, se han encontrado diferencias edafoclimáticas en dos localidades del Encano (veredas San José y Motilón), ubicadas sobre los 2800 msnm, destinadas a la producción de “mora de Castilla” y entre el contenido hídrico de las plantas, así como en las características bromatológicas del fruto (Córdoba et al., 2013, resultados no publicados), por otra parte las dos zonas son representativas del sistema de cultivo de mora en el Encano y presenta similitudes en el origen de las plantas y en el manejo del cultivo aspectos que permiten catalogarlas como modelos experimentales naturales para la región.

A pesar de la importancia de *Rubus glaucus*, existe una escasa información sobre los factores que afectan el desarrollo, rendimiento y comportamiento fisiológico de la misma especie, limitando la selección de zonas óptimas para su eficiente producción (Jiménez et al., 2009), además del alto riesgo que se presenta a nivel nacional y regional, en relación a la dependencia de un solo cultivar, el cual en varias regiones y más específicamente en El Encano-Nariño es poco conocido.

Por otra parte, las prácticas agronómicas que realizan los campesinos de El Encano sobre los cultivos de mora de castilla provienen de ensayos empíricos y por lo general se derivan de las practicas realizadas en otras regiones del país que se manejan bajo condiciones agroclimáticas diferentes. Por lo cual resulta importante generar información sobre la fisiología de *R. glaucus* en zonas de El Encano-Nariño, ubicadas a una altura mayor de los 2800msnm, con el fin de mejorar los conocimientos básicos relacionados con la caracterización y con las condiciones más favorables para el cultivo de “mora de Castilla”.

## **2.1 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las respuestas fisiológicas de la planta, y cómo se comportan los atributos de calidad del fruto de *R. glaucus* a lo largo de un ciclo productivo y en relación del microambiente en el corregimiento El Encano-Nariño?

## **2.2 Hipótesis**

Las condiciones edafolóclimáticas específicas de cada zona de estudio influyen sobre la fisiología de la especie *R. glaucus* y en consecuencia sobre las características físicas y químicas de sus frutos.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo general:**

Establecer las respuestas fisiológicas de *R. glaucus* y los atributos de calidad de sus frutos en diferentes momentos de un ciclo productivo, en relación con el microambiente en el corregimiento del Encano-Nariño

### 2.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar las características fisiológicas que presenta *R. glaucus* durante un ciclo de crecimiento productivo en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano.
- Analizar características físicas, bioquímicas y de calidad, en frutos de *R. glaucus*, en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano-Nariño.

### 3 JUSTIFICACIÓN

*Rubus glaucus* es una importante fuente de entradas económicas para regiones de ladera de Colombia y tiene un gran valor nutricional por sus contenidos de Vitamina C y otros ácidos orgánicos, fibra y aporte de nutrientes como calcio, hierro, potasio; a sí mismo es una fuente rica de polifenoles como elagiotanino y antocianinas (García et al., 2003).

Esta especie es considerada un recurso genético de importancia para el desarrollo del cultivo en el altiplano Colombiano, a nivel nacional existe un área sembrada de 10,297 hectáreas con una producción de 89,251 t/año y un rendimiento de 8,7 t/ha (García, 2012), de la producción nacional aproximadamente el 55% se consume en fresco en supermercados y plazas de mercado, mientras que cerca del 10% se vende a la agroindustria para la preparación de jugos, pulpas, mermeladas, conservas, dulces y colorantes (Ruiz et al., 2009).

En Colombia el cultivo de mora ha tenido un comportamiento creciente tanto en área sembrada como en producción (García, 2012; Alzate, Mayor, & Montoya, 2010). En el plan frutícola Nacional (PFN) 2006-2026 se plantea un incremento del 94.1% al año 2026 con una proyección de 20.631 ha en mora. Para el caso específico de Nariño se ha proyectado incrementar el área de producción de mora pasando de las 442 a 1.000 ha en los próximos 20 años para generar 2.283 empleos directos (Grijalba et al., 2010). En este sentido en el departamento de Nariño la mora se constituye en una alternativa de producción generadora de ingresos directos para los pequeños y grandes productores (Forero de La Rotta & Muñoz, 2001), con beneficios indirectos en seguridad alimentaria, salud y educación. Adicionalmente la mora también se incluye dentro de la apuesta exportadora agropecuaria 2006-2026 y ha sido priorizada para Nariño en la Comisión de Competitividad y en la Agenda de Investigación de Frutales de Nariño.

Pese a esta dinámica en Colombia existe poca información publicada sobre la fisiología de *R. glaucus* de tierras altas tropicales, razón por la cual el presente estudio se desarrollará *in situ*, de tal forma que se conseguirá una caracterización local de la “mora de Castilla” a

través de metodologías de ecofisiología vegetal que brinda la opción de integrar los análisis de variables ambientales en diferentes momentos del crecimiento o desarrollo de planta, comprendiendo como crece y que variables están asociadas en diferentes condiciones (Lambers et al., 2008). Los resultados a obtener fortalecerán la capacidad de producción sostenible de cultivadores de mora aportando conocimiento sobre el comportamiento fisiológico de los cultivares locales en ambientes del corregimiento El Encano. Este estudio también puede ser aplicable a otras áreas del departamento permitiendo seleccionar sitios con las condiciones adecuadas para su cultivo, además de generar recomendaciones prácticas que permitan disminuir la influencia de aquellos factores ambientales o de manejo que limiten la producción y la calidad de los frutos. Adicionalmente, el presente trabajo está orientado a consolidar una línea de investigación en ecofisiología de plantas andinas, con una proyección futura dirigida a rescatar materiales de moras silvestres con potencialidades para el suroccidente de Colombia.

## **4 MARCO TEORICO**

### **4.1 Ecofisiología vegetal, respuestas fisiológicas y morfológicas de las plantas ante el ambiente**

La ecofisiología vegetal se centra en la distribución de las plantas y su capacidad de adaptarse y/o aclimatarse o no a diferentes ambientes, generando así un rango con límites y óptimos, dependiendo muchas veces no sólo de la especie sino de la plasticidad fenotípica de la misma (Melgarejo, 2010). Por lo tanto esta ciencia experimental busca describir los mecanismos fisiológicos fundamentales para el entendimiento de los procesos ecológicos como crecimiento, reproducción, supervivencia, abundancia y distribución geográfica de las plantas afectadas por las interacciones que se establecen con el ambiente biótico o abiótico (Lambers et al., 2008). Los factores bióticos y abióticos que incluyen temperatura, viento, radiación, precipitación, humedad, microorganismos, disponibilidad de nutrientes y organismos cercanos, generan competencia, simbiosis, cooperación o patogenicidad (Ackerly et al., 2000; Luttge & Sarcano, 2004; Dolinski & Lacey, 2007).

El crecimiento es el principal proceso que depende de la actividad fotosintética de la planta, puesto que el 90% de la materia seca proviene de dicho proceso (Rodríguez, 2010), y en este sentido cualquier factor edafoclimático o biológico que limite la fotosíntesis va a afectar negativamente el crecimiento vegetal.

En este contexto el crecimiento es un incremento irreversible en el tamaño de las plantas el cual a menudo está acompañado de procesos como la morfogénesis, la diferenciación y la división celular, dependiendo directamente de procesos como la fotosíntesis y la respiración, además de estar influenciado por factores epigenéticos anteriormente mencionados (Azcón-Bieto & Talón, 2000; Corcuera, Maestro, & Notivol, 2008). Adicionalmente, se ha demostrado que la obtención de altas tasas de crecimiento depende en parte de la variabilidad genética de los distintos caracteres fisiológicos de producción y adaptabilidad al medio ambiente en combinación con prácticas culturales (Corcuera, Maestro, & Notivol, 2008).

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa, usa datos simples y básicos para la descripción e interpretación de las plantas que crecen bajo ambientes naturales, seminaturales o controlados. El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas tales como masa seca total de la planta, área foliar total y tiempo; y medidas derivadas como son la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa de asimilación neta (TAN), duración del área foliar (DAF), relación del área foliar (RAF), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (SLA) que pueden ser obtenidas a partir de las medidas directas (Hunt, 1978). La principal metodología para efectuar el análisis de crecimiento es el análisis funcional o dinámico, el cual comprende medidas a intervalos de tiempos más frecuentes y en un pequeño número de plantas; este método efectúa el análisis con base en la masa seca y área foliar en función del tiempo, además, utiliza regresiones lineales para la estimación de medidas de forma indirecta (Melgarejo, 2010).

Generalmente el patrón de crecimiento de un organismo se describe por medio de la curva sigmoidea en la cual se puede observar tres fases: 1) fase de retardación, ocurre cuando las plantas comienzan a perder masa seca durante el proceso de germinación, a medida que se desarrolla el embrión se van agotando las reservas de la semilla; 2) fase logarítmica, el crecimiento se presenta rápidamente y de forma lineal, 3) finalmente la fase de envejecimiento, el crecimiento comienza a decrecer disminuyendo consecuentemente la masa seca (Melgarejo, 2010).

Concretamente para el tema de ciclo productivo la floración se designa como la etapa del desarrollo en la cual se inicia la fase productiva de la planta, este proceso generalmente ocurre de manera sincronizada para todos los individuos de la misma especie ubicados dentro de una misma área geográfica, de manera que pueda producirse el intercambio genético. Adicionalmente la floración tiene lugar una vez la planta haya alcanzado un determinado tamaño y en respuesta a estímulos endógenos y ambientales (Azcón-Bieto & Talón, 2000).

Al depositarse un grano de polen en el estigma de los pistilos, por acción de insectos, aves, viento, etc., se inicia el desarrollo de los frutos, los cuales llevan en su interior una semilla, entonces tras la fecundación o en otros casos tras el estímulo partenocárpico del ovario este inicia su desarrollo hasta convertirse en fruto maduro, esta transición tiene lugar en fases sucesivas con características bien definidas pero con variabilidad en duración, según las condiciones ambientales, especies y variedades. Generalmente el crecimiento acumulado de un fruto sigue una curva sigmoidea, en la cual se distinguen tres fases. Un periodo inicial caracterizado por la división celular (fase 1), seguido de un periodo de alargamiento celular (fase 2) y un periodo final, el fruto cesa prácticamente en su crecimiento y finalmente madura (fase 3) (Azcón-Bieto & Talón, 2000). A lo largo de este proceso el fruto experimenta cambios en color, composición química y tamaño.

#### **4.1.1 Área foliar específica (SLA)**

El componente morfológico área foliar específica (SLA), se define como la cantidad de área foliar por peso de hoja y es un rasgo morfológico de gran trascendencia funcional y ecológica; este componente morfológico es el factor más importante tanto para las plantas herbáceas como para plantas leñosas. Este rasgo aparentemente simple de la planta, es el cociente entre la superficie y el peso de su hoja, que puede explicar en ocasiones hasta el 80% de la variación en sus tasas de crecimiento (Valladares, 2005). A pesar de que otros factores como la proporción de biomasa distribuida en los diferentes órganos, las tasas de fotosíntesis y respiración, o la composición química de la hoja, también deben intervenir de forma decisiva en las tasas de crecimiento (Azcón-Bieto & Talón, 2000). Adicionalmente el área foliar específica (SLA) está asociada significativamente a la longevidad de la hoja, en este sentido el área foliar específica tendría un significado adaptativo de forma que las especies con alto SLA tendrían ventajas en hábitats productivos a costa de una menor longevidad foliar (ejemplo, las caducifolias), mientras que las especies con bajo SLA pero mayor longevidad foliar (ejemplo, las perennifolias) tendrían ventajas en hábitats con escasez de nutrientes y agua. Además se considera al SLA una característica morfológica que podría haber sido seleccionada evolutivamente para aumentar la velocidad de crecimiento de las plántulas (Villar et al., 2004).

#### **4.1.2 Azúcares o hidratos de carbono**

Estas sustancias cumplen funciones complejas y desempeñan un papel vital para los sistemas vivos, además de funcionar como osmolitos, reserva de energía y hacer parte estructural de moléculas son importantes por su uso en un sinnúmero de procesos metabólicos como transporte y señalización, entre muchos otros (Dewick, 2002). Se ha comprobado que bajo ciertas condiciones ambientales causantes de un desbalance hídrico los niveles de azúcares se ven afectados, por ejemplo en estrés por patógenos, en estrés oxidativo, en estrés hídrico, en estrés salino y entre otros. Así mismo, hay una alteración en el nivel de los carbohidratos durante la etapa de maduración, en este sentido se presenta un aumento en el contenido de azúcares bien sea por la degradación casi total de las reservas amiláceas (frutos climatéricos), o por la degradación de los productos de la fotosíntesis (frutos no climatéricos), transformación que conduce a cambios en el sabor, la textura y la consistencia del fruto (Moreno et al., 2010).

#### **4.1.3 Nitrógeno foliar**

El patrón de crecimiento y desarrollo fenológico está regulado por la disponibilidad de agua y nutrientes en interacción con los factores ambientales (Andrade et al., 2002). Entre los nutrientes, el Nitrógeno es el que en mayor medida limita la producción y el crecimiento de una planta. El nitrógeno juega un papel clave en la estructura de las proteínas y ácidos nucleicos y puede considerarse junto con el Carbono, como uno de los elementos centrales de la vida (Loomis & Connor, 2002).

Por otra parte, la principal limitación para la fotosíntesis es precisamente la disponibilidad de nitrógeno, por lo cual en condiciones naturales (y en ciertos experimentos de laboratorio), las plantas a pesar de que están expuestas a radiaciones intensas no pueden aprovecharlas de una forma óptima por las limitaciones en la disponibilidad de nitrógeno que restringe la cantidad de enzimas fotosintéticas (Villar et al., 2004).

Marschner, (2012) menciona que más de 75 % del nitrógeno orgánico total se localiza en los cloroplastos, principalmente en forma de enzimas, y que una deficiencia de este elemento tiene efecto directo en la síntesis de clorofila, por lo tanto es un buen indicador de la fisiología de la planta. En este sentido, Calderón, Rodríguez, Becerril, Livera, & Colinas, (1997) señalan que el contenido de nitrógeno en la hoja es un factor determinante en la tasa fotosintética por unidad de área foliar, si tal contenido es alto, la tasa fotosintética también lo será. Sin embargo, ha sido difícil establecer una correlación entre Fotosíntesis y el contenido de clorofila o de N en hojas, porque en condiciones de campo la Fotosíntesis fluctúa durante el día, mientras que los contenidos de N y clorofila en hojas permanecen prácticamente constantes (Ryugo, 1988).

Deficiencias de Nitrógeno durante la etapa vegetativa temprana reducen el número de hojas y con ello el crecimiento y el rendimiento, mientras que deficiencias posteriores afectarán el número y peso de los frutos (Connor & Sadras, 1992). De este modo, la mayor absorción de N se concentra en los 30 a 35 días previos a la floración, durante la etapa de crecimiento rápido del cultivo, la cual cesa cuando comienza la floración (Caram, Angeloni, & Prause, 2007).

#### **4.2 Factores ambientales incidentes sobre la fisiología, morfología, desarrollo y crecimiento de la planta**

Una gran diversidad de ambientes presentes en los trópicos han propiciado una alta cantidad de cultivares producto de procesos de domesticación y adaptación a ambientes particulares (Almeida & Valle, 2007). Factores ambientales tales como la temperatura, radiación, la humedad, la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2010) y la disponibilidad de CO<sub>2</sub> (Campostrini & Glenn, 2007) provocan una respuesta por parte de la planta, afectando los procesos de crecimiento vegetativo y productivo (Craine, 2006; Gandolfo, 2008).

#### **4.2.1 Agua y Nutrientes presentes en el suelo**

Cada genotipo y especie de planta requiere una nutrición mineral óptima para su normal crecimiento y desarrollo (Azcón-Bieto & Talón, 2000), asociado a ello, una adecuada nutrición mineral es fundamental para alcanzar una eficiente producción (Melgarejo, 2010). En la naturaleza 17 elementos químicos se consideran esenciales para la vida de las plantas (Melgarejo, 2010), los cuales se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, dependiendo de las concentraciones en las plantas. Dentro de los macronutrientes encontramos N, P, K, Ca, Mg, y S, y en los micronutrientes se incluyen B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn (Craine, 2006; Melgarejo, 2010). El nitrógeno, el fósforo, el potasio y el agua son considerados como los principales factores elementos limitantes del crecimiento, desarrollo y finalmente del rendimiento de la planta; los nutrientes Carbono, Hidrógeno y Oxígeno no son considerados elementos limitantes por su abundancia en el ambiente, aunque si se restringe su suministro los tejidos de la planta pueden morir (Parry, Flexas, & Medrano, 2005).

Con baja disponibilidad de agua en el suelo se presenta un aumento de la filtración de electrolitos en los tejidos de las hojas, lo que se relaciona directamente con la degradación de pigmentos fotosintéticos y en sí con la reducción de la tasa de fotosíntesis neta (Donoso, Peña, Pacheco, Luna, & Aguirre, 2011; Cha-um, Yamada, Takabe, & Kirdmanee, 2013), la ausencia de agua también puede causar muerte de tejidos juveniles en los ápices principales (Donoso et al., 2011), reducción en la calidad de los productos de las plantas y consecuentemente bajos rendimientos, debido a las reducciones que se presentan en área foliar y en la fotosíntesis (Rodríguez, 2010). Sin embargo ante dicha situación puede presentarse una tendencia al aumento de la biomasa radical o un ajuste osmótico por parte de la planta con el fin de mantener altos valores de contenido hídrico relativo y turgencia celular (Donoso et al., 2011). En este sentido se ha descrito que los suelos con buena retención de agua inducen un aumento en las tasas de crecimiento y permiten que haya longevidad foliar (DaMatta, Ronchi, Maestri, & Barros, 2007).

#### **4.2.2 Humedad atmosférica**

La humedad del aire tiene un impacto significativo en el crecimiento vegetativo de las plantas las cuales generalmente crecen satisfactoriamente en condiciones de alta humedad (DaMatta et al., 2007), pues se ha demostrado que al aumentar la humedad en el aire puede aumentar la fotosíntesis (Rawson, Begg, & Woodward, 1977) y la transpiración disminuye (Gisleröd, Selmer-Olsen, & Mortensen, 1987; Mortensen, 2000; Rawson et al., 1977), favoreciendo el aumento del peso seco, fresco, longitud de brotes y el número de hojas, al igual que el número de flores y capullos de flores, aunque el tiempo de floración puede verse afectado negativamente con la humedad relativa (Mortensen, 1986). Aunque, a bajas humedades relativas atmosféricas se produce un aumento en el peso fresco total de los esquejes de las plantas, asumiendo que el suelo no presenta déficit hídrico (Shibuya, Terakura, Kitaya, & Kiyota, 2006). Por otra parte se ha demostrado que altos valores de humedad atmosférica pueden disminuir la altura de la planta al igual que el tamaño de las hojas, viéndose afectada la calidad de la misma (Mortensen, 2000), debido a que el contenido de macronutrientes como N y K en la hojas se reducen con el aumento de la humedad atmosférica (Gisleröd et al., 1987).

#### **4.2.3 Radiación lumínica**

La disponibilidad de luz incidente es el factor que probablemente ejerce la mayor influencia sobre la fotosíntesis de una planta (Gandolfo, 2008). Si bien cada planta tiene un ciclo anual de crecimiento, la luz influye directamente en las etapas de floración y desarrollo vegetativo, al suministrar alimento y energía por medio de la fotosíntesis, de esta manera cuando la luz no es suficiente para un desarrollo normal las plantas tienden al ahilamiento, es decir, los tallos se hacen altos y delgados, presenta clorosis y malformación de hojas (Piña & Arboleda, 2010). Adicionalmente, el crecimiento vegetativo se reduce tanto en número como en longitud de brotes y consecuentemente el desarrollo de las flores y la posterior fructificación también resultan afectadas, conduciendo a un menor desarrollo y productividad (Gandolfo, 2008).

Por otra parte, en condiciones de baja radiación los tejidos de las hojas presentan reducidas cantidades de azúcares solubles, a diferencia de mayores radiaciones donde la concentración de hexosa en la planta se mejora (Dallagnol, Rodríguez, Chaves, Vale, & DaMatta, 2013). Esto en parte es debido a un ambiente con adecuada radiación luminosa en donde las plantas tienden a aumentar su biomasa radical lo que garantiza la posibilidad de soportar las mayores tasas fotosintéticas y de transpiración que normalmente suceden en los ambientes más iluminados (Santana, Pelacani, De Souza, & Crepaldi, 2006), pues se facilita la absorción de agua y nutrientes por parte de la raíz, de importancia para el crecimiento y desarrollo de la planta, y esto junto con la influencia de la apertura estomática se aumenta la fijación de CO<sub>2</sub> (Rodríguez, 2010).

En este sentido, se afirma que las plantas con altas condiciones de luz translocan la mayor parte de los fotoasimilados a las raíces, mientras que en condiciones de baja luminosidad se favorece la translocación de fotoasimilados hacia los brotes (Mc Alpine y Jesson, 2007). Aunque también se debe tener en cuenta que en condiciones de alta radiación se producen daños en el aparato fotosintético debido a la disminución de la tasa neta de asimilación de carbono, que a su vez también resulta afectada por una reducción en la conductancia estomática (Dallagnol et al., 2013).

#### **4.2.4 Temperatura**

Es considerado el elemento que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas (Machado, Prioli, Gatti, & Cardoso, 2006; Ritchie & Nesmith, 1991). A medida que la temperatura aumenta también lo hace la velocidad del crecimiento, hasta alcanzar un valor óptimo por encima del cual se presenta una disminución, pues las reacciones bioquímicas empiezan a suceder tan aceleradamente hasta un umbral que se destruyen los sistemas de enzimas y las células mueren (Fernández & Johnston, 2006); de manera contraria, las bajas temperaturas disminuyen la velocidad de las reacciones enzimáticas provocando a nivel general una reducción de todas las etapas del ciclo de vida de una planta. Sin embargo hay determinadas etapas que necesitan temperaturas bajas para

que ocurran, como lo son la inducción e incremento de la floración, germinación, así como la terminación de dormancia en semillas y yemas (Fernández & Johnston, 2006).

Adicionalmente el aumento de la temperatura estimula la apertura de estomas, causando así un aumento de la eficiencia de carboxilación de la Rubisco (Contran et al., 2013), aunque también aumenta la demanda de evapotranspiración (DaMatta et al., 2007), lo que resulta desfavorable en un ambiente cuyos suelos presenten déficit hídrico, en este caso los incrementos de temperatura podrían generar una disminución de las tasas de crecimiento (DaMatta et al., 2007). Por otra parte las temperaturas bajas junto con condiciones de alta humedad y lluvias constantes pueden desarrollar problemas fitosanitarios como la enfermedad Mildeo vellosa (*Peronospora* sp), que se presenta en *R. glaucus* (Barrero, 2009).

En el caso de las temperaturas bajas en el suelo, su efecto más importante es el aumento de la resistencia hidráulica de las membranas celulares en las raíces (DaMatta et al., 2007) y junto con vientos fuertes y cálidos, temperaturas foliares elevadas y baja humedad relativa ambiental, se estimula la transpiración, induciendo desecación que conduce a la muerte de la misma (Azcon-Bieto & Talón, 2000), además la textura del suelo está íntimamente relacionada con la humedad del mismo, en este caso en suelos arenosos o gravosos hay una maduración más temprana de los frutos de plantas presentes en este tipo de suelo, comparados con las que crecen en terrenos arcillosos (Alzate et al., 2010).

La temperatura también es clave en la definición del momento de siembra y por lo tanto sobre la duración de las diferentes fases fenológicas, de acuerdo a esto el conocimiento de la duración exacta de cada etapa fenológica y su interacción con las condiciones ambientales es esencial para obtener los máximos rendimientos en las plantas cultivadas, ya que determinan características como la absorción de nutrientes y el contenido de sólidos solubles totales en los frutos (Stenzel, Neves, Marur, Scholz, & Gomes, 2006) que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Hoyos, et al., 2012; Reyes, et al., 2009). En este sentido los grados-día de desarrollo (GDD), o las unidades térmicas (HU), son los índices más comúnmente utilizados para estimar el desarrollo de las plantas

(Qadir, Cheema, Fayyaz-ul-Hassan, Ashraf, & Wahid, 2007), y entre sus aplicaciones está el predecir la madurez fisiológica o comercial de los frutos, determinar el momento de cosecha y planear adecuadamente un cultivo (Hoyos et al., 2012).

Para el cálculo de los GDD acumulados se puede emplear el método de umbrales de temperatura (Perry, Wehner, & Johnson, 1986), el cual asume que las temperaturas de un día de 24 h siguen una curva senoidal, este método ofrece una significativa precisión para el cálculo, ya que utiliza la temperatura diaria mínima y máxima junto con la temperatura base e incorpora la temperatura techo o umbral superior en el cálculo (Hoyos et al., 2012).

#### **4.3 Aspectos botánicos de *R. glaucus***

El nombre científico de la “mora de Castilla” *Rubus glaucus*, se desprende de las palabras rubus: rubís, rojo (por el color de sus frutos en ciertas etapas) y glaucus: glauco: verde claro (por el color de sus tallos) (Mejía, 2011). *R. glaucus* es un arbusto trepador; con tallos cilíndricos, glabros, glaucos y espinosos, las espinas son curvadas y se estrechan gradualmente desde una base amplia; presenta estípulas lineares, cartáceas, glabras; peciolas entre 50-120 mm de longitud; hojas trifoliadas, los folíolos son ovado-lanceolados, subcoriáceos, con 10 a 13 pares de venas secundarias, con una base redondeada o ligeramente truncada y ápice acuminado; las inflorescencias son laxas, frondosas, cimas compuestas, con una longitud de 10 a 20 cm, con 15-22 flores y pedicelos de 10 a 40 mm de largo; las flores presentan un diámetro de 18 a 22 mm; sépalos deltados, ápice acuminado a filiforme, envés glabro, pétalos blancos; carpelos piloso-vellosos (Romoleroux & Nilgaard, 1996).

#### **4.4 Hábito de crecimiento y producción de *R. glaucus***

De la Cadena & Orellana (1984), describen al hábito de crecimiento de la mora de Castilla como “arbusto sarmentoso”, es decir con ramas leñosas, delgadas, flexibles, que se apoyan sobre objetos próximos; planta siempre verde, cuyo tronco se divide en varias ramas que son los tallos, los cuales crecen hasta alcanzar aproximadamente 2 m a 3 m de

largo. En este sentido se pueden distinguir tres tipos de ramas: vegetativas látigo, vegetativas machos y las ramas productivas o hembras. Las ramas vegetativas látigo son delgadas, con hojas pequeñas y escasas, crecen horizontalmente buscando el suelo con tendencia a enterrarse y no florecen, por el contrario las ramas vegetativas machos son gruesas y con abundantes espinas, estas ramas se reconocen porque en su ápice tiene hojas cerradas, y finalmente las ramas productivas o hembras son más gruesas que las ramas látigo, pero más delgadas que las ramas macho, estas ramas crecen verticalmente y en su ápice tiene hojas abiertas (Franco & Giraldo, 2002).

Franco & Giraldo (2002), describen la fructificación de la “mora de Castilla” en ramas que florecen en racimos terminales, en ramas secundarias y terciarias, en este sentido de acuerdo a Martínez & Beltrán (2007), el despuntar ramas primarias o secundarias por el proceso llamado poda de fructificación se estimula la producción de ramas laterales secundarias que pueden ser productivas.

#### **4.5 Fruto de *R. glaucus***

La mora de castilla es una polidrupa, con 70-100 drupeolas por receptáculo (Romoleroux & Nilgaard, 1996) y dentro de cada una hay una semilla; los frutos pueden ser de tamaño grande, mediano o pequeño; circular o cónico elíptico, la maduración es dispareja porque la floración no es homogénea; cuando los frutos maduran su color va de rojo a purpura o de rojo a rojo oscuro (Franco & Giraldo, 2002; Romoleroux & Nilgaard, 1996). Adicionalmente, la “mora de Castilla” es clasificada como una fruta no climatérica por lo cual su tiempo de cosecha debe ser igual o muy cercano al de consumo (Alzate et al., 2010).

El crecimiento del fruto según el peso fresco muestra tres fases: una de crecimiento acelerado, otra de crecimiento lento y la última de crecimiento rápido. En la primera etapa, el contenido de clorofila aumenta y predomina su síntesis sobre la de antocianinas (pigmentos morados). En la siguiente etapa, el contenido de clorofila disminuye, aunque la síntesis de antocianinas aún no se estimula, el pH decrece por la síntesis de ácidos

orgánicos o por la fijación de CO<sub>2</sub> en ácido málico; también se da el máximo crecimiento de las semillas lo que puede influir en que el crecimiento sea lento. Finalmente en la última etapa, se da el cambio de color rojo a morado oscuro, aumentando la concentración de azúcares rápidamente (Hernández-Gil & Bautista, 1977).

Teniendo en cuenta que la cosecha es la fase de la explotación comercial del cultivo, los productos cosechados deben satisfacer los requisitos del consumidor, en términos de calidad y precio, en este sentido la madurez comercial se define como el momento adecuado para la recolección de un producto destinado a un fin concreto cumpliendo las exigencias del mercado, es decir, el producto debe tener la calidad óptima para el consumo, de este modo para decidir el momento preciso para cosechar la mora se deben conocer los indicadores de madurez, siendo los más empleados los que se muestran a continuación (Norma Técnica Colombiana, 4106):



| Color                                     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| °Brix (mínimo)                            | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,3 | 6,7 | 7,2 | 7,7 |
| °Brix (máximo)                            | 5,7 | 6,1 | 6,4 | 6,9 | 7,3 | 7,9 | 8,5 |
| Acidez titulable máxima (% de ác. málico) | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | 3,1 | 2,8 | 2,5 |
| Índice de madurez mínimo                  | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 3,1 |

Fuente: Norma Técnica Colombiana, 4106

#### 4.6 Fenología de *R. glaucus*

El registro pormenorizado de los estadios sucesivos que detallan las fases fenológicas de las plantas, como por ejemplo brotación, floración y desarrollo de los frutos, permite analizar la relación entre el clima y la respuesta frente a las condiciones locales (Ordúz-Rodríguez, Monroy, & Fischer, 2010). De manera particular la fenología de las frutas se puede dividir en las etapas de cuajado, crecimiento y de madurez fisiológica; en el período de crecimiento se produce una alta actividad de división celular, lo que resulta en aumento

del volumen y del peso del fruto hasta que este alcanza un tamaño normal dependiendo de la variedad (Montes et al., 2009).

Para *R. glaucus* a una yema inicial le toma 6 semanas en llegar a la floración, después de esto una flor en su inicio demora 2 semanas para convertirse en un fruto cuajado, así mismo, a una flor en su etapa inicial le toma 17 semanas en llegar a convertirse en un fruto maduro (Mejía, 2011).

En cuanto al ciclo de desarrollo del fruto de “mora de Castilla” después de la fecundación de la flor se necesitan 8 días para que se formen frutos con una longitud de 0,5 a 1 cm y después de 14 días los frutos alcanzan una longitud entre 1 y 2 cm, posteriormente, después de 21 días inicia el cambio de coloración la cual tarda generalmente una semana en pasar de rojo a vino tinto oscuro, con un ligero incremento en el tamaño, después de 9 días algunos frutos alcanzan la madurez comercial con longitudes que oscilan entre 1,5 y 2,5 cm, mientras que después de 40 días los restantes frutos continúan creciendo hasta alcanzar longitudes de 2,5 a 3,5 cm (García & García, 2001).

#### **4.7 Requerimientos climáticos y edáficos de *R. glaucus***

El mejor desarrollo de *R. glaucus* se presenta entre los 1800 y 2400 metros de altura sobre el nivel del mar (Franco, et al., 1996), después de los 2400 msnm los rendimientos son menores y se disminuye la calidad y tamaño de los frutos, por otra parte según Franco, et al. (1996) los cultivos ubicados entre los 2000 y 2300 msnm presentan mejor productividad y menores problemas fitosanitarios. Generalmente el cultivo necesita de una humedad ambiental entre 70 y 80% y una temperatura entre los 11 y 18 °C (Alzate et al., 2010), aunque también se ha reportado temperaturas promedio entre 16 y 18 °C para el rendimiento (Jiménez et al., 2009). Las regiones con precipitaciones entre 1500 a 2500 milímetros son aptas para el cultivo de mora (Franco & Giraldo, 2002). En cuanto a la intensidad de luz, la mora tiene punto bajo de compensación luminosa para realizar los procesos de fotosíntesis y transformación; de 1200 a 1600 h de brillo solar/año son

adecuadas a medida que se incrementan los requerimientos hídricos y nutricionales (Bermúdez et al., 2000).

Sobre el componente edáfico los suelos inclinados favorecen el drenaje (Alzate et al., 2010), cultivos en suelos con una textura franca, rico en nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, y en materia orgánica, presentan un buen rendimiento, la “mora de Castilla” crece en suelos ácidos, pero se desarrolla mejor en suelos con un pH cercano a 7 (Franco & Giraldo, 2002). Una profundidad efectiva del suelo entre 60 y 70 cm se producen efectos positivos en los cultivos de *R. glaucus* ya que permite la retención de la humedad del suelo (Jiménez et al., 2009).

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la productividad de los cultivos de “mora de Castilla” está sujeta a las condiciones ambientales locales y a las prácticas de manejo agronómico (Alzate et al., 2010; Castaño et al., 2008; Jiménez et al., 2009), por lo cual es de esperar que cultivos de *R. glaucus* presenten condiciones diferentes para su óptimo desarrollo y producción dependiendo del microambiente en el que se encuentren, esto teniendo en cuenta las adaptaciones o aclimataciones que hayan desarrollado. En este sentido las características genéticas de los organismos vegetales pueden influir en las respuestas ante los factores ambientales y en particular en la formación de frutos de buena calidad (Stenzel et al., 2006). A favor de lo anterior, Lobo (2006) plantea que el potencial aumento de productividad de la mora de Castilla y otros frutales andinos en Colombia está determinado por varios factores como la existencia de una gran variabilidad de microhábitats en los Andes y la presencia de nichos ecológicos apropiados para su cultivo.

#### **4.8 Prácticas culturales realizadas sobre *R. glaucus***

Prácticas de manejo agronómico como distancia de siembra, fertilización, podas, y edad de renovación son frecuentes en cultivos de mora de Castilla (Alzate et al., 2010).

La siembra se realiza en hoyos de 40 x 40 x 40 cm de ancho, largo y profundo, si el pH es menor a 5 se aplica 200 gr/hoyo de cal dolomítica, con distancias de siembra que

varían entre 1,5 y 2,5 m entre plantas y de 2 a 2,5 m entre hileras, con densidades de siembra de alrededor de 2500 plantas por hectárea. Adicionalmente los agricultores realizan fertilización química mediante la aplicación de cal, materia orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio y boro, acompañado de actividades de manejo de arvenses y enfermedades (Franco & Giraldo, 2002).

Debido al hábito de crecimiento y al tipo de ramas que se desarrollan en la “mora de Castilla”, las cuales invaden espacios entre hileras de plantas impiden una adecuada distribución de productos fitosanitarios y fertilizantes aplicados al follaje y principalmente evitan una cosecha adecuada, esta especie exige un constante trabajo de podas y tutorado (Franco & Giraldo, 2002; Mejía, 2011). La razón principal de la poda de frutales es la obtención de una producción abundante y de buena calidad, así la acción de la poda consiste en orientar las ramas para una mejor exposición al sol, suprimir la madera seca y equilibrar el peso de los frutos sobre el mismo, además la poda permite limitar el tamaño de la planta a fin de facilitar la realización de prácticas como las podas subsecuentes, controles fitosanitarios, cosecha, entre otras (Carrillo, et al., 2012).

Generalmente se distinguen tres tipos de podas, la poda de formación consiste en eliminar ramas extras una vez se haya determinado cuantas ramas por planta se van a dejar, cantidad de ramas que oscila entre 6 y 8; la poda de mantenimiento consiste en eliminar las ramas que ya produjeron así como las ramas secas, quebradas y leñosas, para estimular en engrosamiento de las ramas laterales y la formación de nuevas ramas productivas, y finalmente la poda de renovación consiste en eliminar las ramas principales cuando hayan agotado su producción o se puede coartar la planta completa a ras del suelo cuando los rebrotes producidos no muestren una buena producción (Franco y Giraldo, 2002).

## 5 ANTECEDENTES

Jiménez et al. (2009), con el objetivo de caracterizar la producción de cultivos de “mora de Castilla” y de relacionarla con los eventos específicos del lugar donde se desarrollan utilizaron información específica de sistemas de producción y de los suelos de 20 sitios en Colombia, y junto con datos meteorológicos disponibles desarrollaron modelos de estos sistemas de producción. Los resultados mostraron: que las condiciones óptimas para un alto rendimiento son una temperatura promedio entre 16 y 18 °C, una profundidad efectiva del suelo entre 60 y 70 cm, con un buen drenaje, junto con la precipitación acumulada del primer mes antes de la cosecha eran determinantes críticos de la productividad. Por otro lado, bajo condiciones ambientales similares los autores encontraron que se presentan grandes diferencias en la producción, que podría estar relacionado con las actividades de manejo agrícola.

Alzate et al., (2010) con el objetivo de determinar la influencia del manejo agronómico, condiciones edáficas y climáticas sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de “mora de Castilla”, compararon frutos en seis estados de madurez en dos áreas de cultivo diferentes, cuyos resultados revelaron que las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas de los frutos dependen de los nutrientes presentes en el suelo y de las prácticas agronómicas; también observaron que a un mayor índice de madurez los frutos presentan mayores grados Brix, mayor pH, y un menor porcentaje de acidez. Finalmente, también encontraron que las prácticas de manejo agronómico como distancia de siembra, fertilización, podas, y edad de renovación de los cultivos influyen considerablemente en la calidad de los frutos.

Enciso & Gómez (2004) en un estudio con el objetivo de contribuir al avance del conocimiento de *R. glaucus* compararon algunas de las respuestas fisiológicas de 4 cultivares: Guarne, San Antonio, Pacho-2 y Sara-3, de CORPOICA, ante variaciones en la intensidad lumínica. Los resultados obtenidos indicaron que los cultivares San Antonio y Pacho-2 presentaron un punto de compensación lumínica por debajo de 200  $\mu\text{moles fotones}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , mientras Guarne y Sara-3 lo hicieron por encima de este valor; la

fotosíntesis neta presentó variaciones entre los cultivares evaluados aun cuando éstos se desarrollaron bajo las mismas condiciones ambientales. En cuanto a los valores de clorofila estuvieron correlacionados con la fotosíntesis neta. Finalmente el cultivar Pacho 2 que corresponde a una mayor altitud mostró la mayor área foliar respecto a los otros cultivares, aspecto que fue relacionado con una mayor intensidad de la radiación.

Castañó, Morales, & Obando, (2008) determinaron las deficiencias nutricionales de *Rubus glaucus* mediante la técnica del elemento faltante usando material vegetal en condiciones controladas, en estos resultados el calcio fue el elemento que más limita el crecimiento y desarrollo de la planta de mora, ya que a su vez limita la asimilación de nitrógeno, fósforo, magnesio y zinc, aparte de esto, la deficiencia de magnesio incrementó los contenidos de materia seca en las plantas de mora, y la deficiencia de nitrógeno incrementó los contenidos foliares de magnesio. Por último, ante bajas concentraciones de boro observaron un incremento en los contenidos foliares de potasio y las plantas con deficiencia en fósforo se vieron estimuladas a producir muchas ramas no productivas incrementando costos en las podas.

Por otra parte, en un estudio realizado por Roveda et al., (2007) encontraron que las plantas de *R. glaucus* inoculadas con hongos de micorrizas arbusculares muestran una mejor adaptación al ambiente, expresada en la acumulación de biomasa foliar y radical, mayor área foliar, mejor estado nutricional y mayor absorción de nutrientes esenciales como P, N, Ca y Mg.

Ayala, Valenzuela, & Bohórquez, (2013), con el objetivo de establecer el grado de madurez de cosecha adecuado para la comercialización de la mora proveniente del cañón del Combeima (Ibagué-Colombia), recurrieron a la evaluación de parámetros físicos, químicos y fisiológicos en productos con grado de madurez 4, 5 y 6. Los resultados evidenciaron que el estado de madurez recomendable para la cosecha y comercialización del producto evaluado es el 5, en este estado se alcanza la adecuada acumulación de ácidos, sólidos solubles, tamaño y forma característica del fruto. La cosecha en el grado de madurez 4 no es recomendable, atendiendo a las diferencias en peso y alta tasa respiratoria,

así mismo, la recolección en el grado de madurez 6 es descartable ya que en este estado de madurez se han observado magulladuras y liberación de lixiviados.

## 6 MATERIALES Y METODOS

### 6.1 Área y Material de estudio

El corregimiento de El Encano se encuentra a 27 Km de la ciudad de San Juan de Pasto (Nariño) (Figura 1) y está ubicado a una altura de 2820 msnm, posee 19 veredas y una población de 10150 habitantes aproximadamente, su economía se basa en la agricultura y la ganadería; este corregimiento presenta un régimen pluviométrico bimodal con dos períodos lluviosos y dos secos durante el año, con una precipitación total anual de 3332 mm (Solarte, 2013). En lo concerniente con la velocidad del viento, presenta un promedio anual de 2.0 m/s y un máximo de 2.6 m/s para el mes de agosto. La temperatura presenta valores entre 11.6 °C y 13.2 °C. La humedad relativa presenta un promedio igual a 86.8%, aumenta entre abril y septiembre con valores que oscilan entre 87% y 88% (Solarte, 2013).

El estudio se realizó en 2 cultivos de “mora de Castilla” ubicados en el Corregimiento El Encano (Nariño); uno de ellos ubicado en la vereda Motilón al noroccidente (N: 01°09′06,4″ W: 77°09′06,1″, 2850 msnm) y el otro en la vereda San José en la margen nororiental de la laguna de la cocha (N: 01°07′15,4″ W: 77°10′26,9″, 2818 msnm) (Figura 2). Los cultivos en ambos casos tienen dos años de edad, las plantas son de origen silvestre y fueron sembrados en forma de cuadro, con 2800 plantas en San José y 1200 plantas en Motilón. Sobre los cultivos se realizan actividades de manejo agronómico como la eliminación manual de malezas; aplicación de abono orgánico; podas, y control de enfermedades y plagas (Solarte, 2013).

En relación a los antecedentes de los terrenos sobre los cuales se encuentran establecidas las plantas de *Rubus glaucus*, en ambas veredas los terrenos anteriormente fueron utilizados para la producción de papa. En la vereda San José el terreno fue preparado con Cal para la siembra de “mora de Castilla”. En la vereda Motilón aparte de Cal el terreno se preparó con la adición de abono orgánico, excremento de cuy, y a cada planta se agregó “raizal”, producto que asegura el rápido crecimiento de la misma ya que se afianza la raíz con rapidez a la tierra. Las plantas de mora son atacadas por plagas como el

barrenador (*Zascelis* sp) y la roya (*Gymnocoria* sp), situación que conlleva a aplicar fungicida tres veces al año para erradicarlas. El trabajo de poda, deshierbe, retirada de frutos dañados, verificación de roya u otras plagas son labores que se realizan a diario para alcanzar una buena y permanente cosecha de mora. Finalmente, se recoge la mora dos veces por semana, alcanzado en el mes de Diciembre la mejor época de cosecha.

**Nota:** Las figuras que se observaran a continuación son producto de esta investigación.

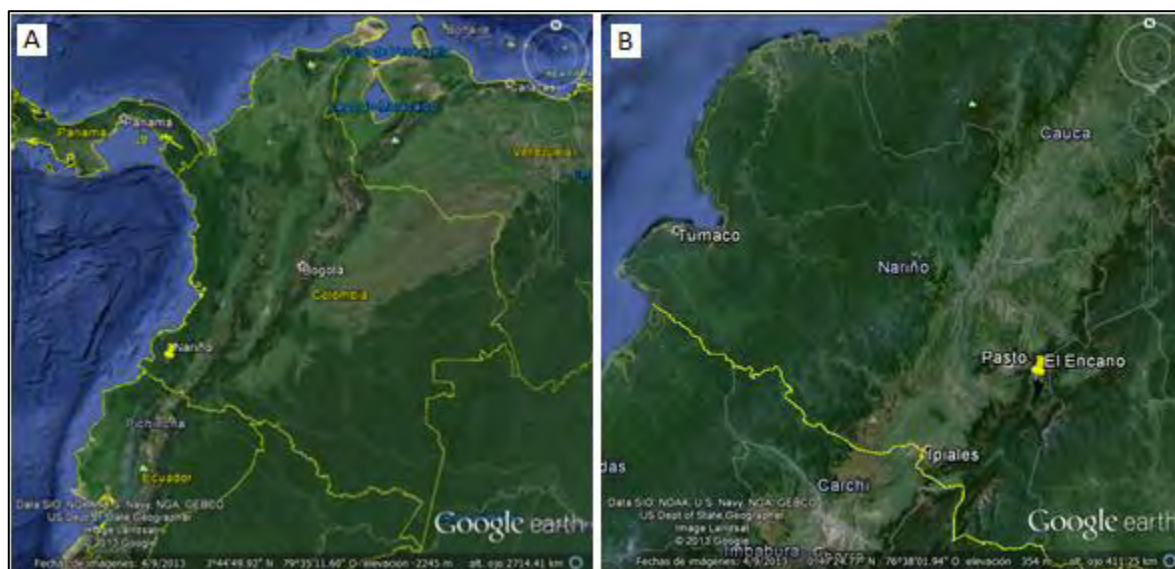


Figura 1. A. Ubicación del Departamento de Nariño en el mapa de Colombia. B. Ubicación del corregimiento El Encano en el mapa de Nariño

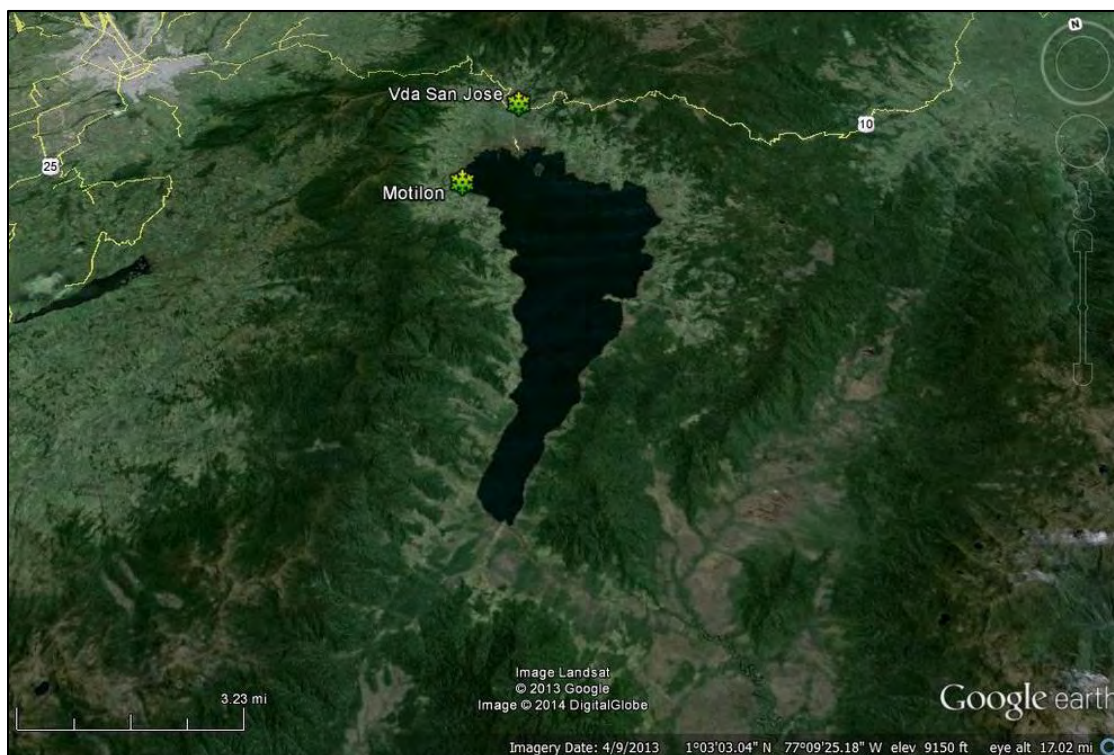


Figura 2. Ubicación de las veredas San José (SJ) y Motilón (M), en el corregimiento de El Encano - Nariño

## 6.2 Determinación de variables ambientales

En ambas zonas de estudio se realizó un monitoreo diario de las variables temperatura y humedad relativa por medio de sensores de registro y almacenamiento de datos, a partir del 25 de Diciembre del 2013. Para el factor edáfico se realizó un análisis de suelo para cada zona de estudio en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, para lo cual en cada cultivar se tomó muestras (en forma de “Z”) a lo largo de cada cultivo para finalmente obtener una muestra homogénea. Finalmente, con los datos de temperatura y humedad relativa se calculó el déficit de presión de vapor según las ecuaciones de Sánchez, (1992):

$$\text{Déficit de presión de vapor (DVP)} = e_s - e_a$$

$$e_s = 0.6108 \exp ((17.27 * T) / (T + 237.3))$$

$$e_a = e_s * (\text{HR}/100)$$

Donde, “ $e_s$ ” es la presión de vapor a saturación a la temperatura del aire (kPa), “ $e_a$ ” es la presión de vapor actual (kPa), “ $T$ ” es la temperatura en °C y “HR” es la humedad relativa (%).

### **6.3 Metodología Objetivo 1: Determinar las características fisiológicas que presenta *R. glaucus* durante un ciclo de crecimiento productivo en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano**

Se marcaron 50 botones florales el 25 de diciembre de 2013, en las localidades de Motilón y San José, y se realizó un seguimiento hasta terminar el ciclo productivo. Se anotó el número de días de duración de cada estado fenológico: flor abierta, flor senescente, fruto cuajado, fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado. Una vez obtenidos los grados día se calcularon los grados día-acumulados o integral térmica (IT) que permite medir la acumulación de calor necesario para completar el periodo fenológico productivo, en este sentido la IT se obtuvo con la suma de los grados día, considerando el número de días necesarios para completar cada etapa fenológica.

Los grados día (GD) se calcularon mediante la ecuación (Hoyos, et al., 2012):

$$GD = \left[ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \right] - T_{base}$$

Donde

- $T_{max}$ : temperatura máxima diaria del aire
- $T_{min}$ : temperatura mínima diaria del aire
- $T_{base}$  = temperatura por debajo de la cual no hay actividad vegetativa en la planta. Barrios-Gómez & López-Castañeda, (2009). Para este parámetro se utilizó un valor de 5,84°C, que ha sido utilizado con *Rubus idealus* (Kershaw, 1991).

Para el análisis de crecimiento de *R. glaucus*, se utilizó un método indirecto o alométrico que permitió estimar variables de: área foliar total, peso seco foliar total, área foliar específica y biomasa del tallo, esto a partir de medidas directas como: dimensiones de la hoja (largo o ancho) y longitud total o del diámetro basal del tallo (Anexo A y B).

Para la obtención de los índices alométricos, inicialmente se efectuó un método destructivo, para lo cual se colectaron ramas productivas (hembra) y vegetativas (macho y látigo), posteriormente se determinó: longitud total de la rama (LR), diámetro basal (DBR), y peso seco (PSR). Con estos datos se realizaron regresiones lineales para determinar con que variable (longitud o diámetro basal) se relacionaba de una mejor manera el peso seco de cada tipo de rama. A las ramas también se les extrajeron las hojas para determinar el eje transversal (LHH), eje longitudinal (LVH), área foliar (AF), peso seco (PSH) y área foliar específica (SLA). Y de la misma manera se realizaron regresiones lineales para determinar que variables (eje transversal o longitudinal) se relacionaban de una mejor manera con el área foliar, peso seco foliar y área foliar específica. Para establecer el área foliar se utilizó fotografías de las hojas y el software Image J. Para la obtención de pesos secos las muestras vegetales se depositaron en una estufa de secado por 72 h a 65 °C y posteriormente se pesaron con una balanza analítica electrónica de  $\pm 0,001$  g de precisión. Las medidas de longitud de ramas se realizaron con una cinta métrica y el diámetro basal se determinó con un calibrador Vernier electrónico de  $\pm 0,01$  mm de precisión.

Una vez obtenidos los índices alométricos, en cada cultivo se seleccionaron 5 plantas y en cada planta se marcaron 2 ramas hembra, 1 macho y 1 látigo, esto de acuerdo a la proporción de cada tipo de rama en la planta, y a una frecuencia de 15 días sobre cada rama se registró el área foliar total, peso seco foliar total, área foliar específica y peso seco propio de cada rama. Finalmente se realizaron curvas de crecimiento a partir de los datos anteriores. También se tuvo en cuenta la producción de ramas nuevas, para lo cual, cada 15 días se realizó un conteo de ramas nuevas sobre las ramas previamente marcadas.

Para obtener datos de producción, en cada localidad se seleccionaron aleatoriamente 5 plantas, en las cuales se marcaron 2 ramas productivas, a las cuales se les realizaron un

seguimiento para determinar el número y peso de frutos: verdes, pintones, rojos y morados que estas producían. Adicionalmente los valores obtenidos a nivel de rama se extrapolaron a nivel de planta, teniendo en cuenta el número de ramas productivas presentes en cada planta. Finalmente con estos valores y teniendo en cuenta el número de plantas presentes en cada localidad se determinó el rendimiento de cada cultivar.

Por otro lado, teniendo en cuenta los botones florales previamente marcados en cada localidad, se colectaron hojas de la parte media de las ramas hembra durante los estados fenológicos botón floral, flor abierta, flor senescente, fruto cuajado, fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado, para los respectivos análisis químicos. En este sentido las hojas fueron transportadas en bolsas herméticamente cerradas hacia los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño donde se realizó un análisis del contenido de clorofilas a, b total, y carotenoides. Para este caso a las hojas colectadas se les eliminó las venas mayores y se cortaron en pedazos pequeños. En un mortero ubicado sobre cama de hielo se colocó 1g del material vegetal fresco, se adicionó nitrógeno líquido y se maceró hasta obtener un polvo muy fino. Todo el proceso se realizó en un sitio con baja luminosidad. Del macerado y por triplicado se tomó una masa de 0,1 g aproximadamente y se colocó en tubos de reacción oscuros de 2,0 mL previamente rotulados, se adicionó 1,5 mL de acetona 80% v/v a -4°C; se mezcló en vórtex por dos minutos; posteriormente se centrifugó durante tres minutos a 10000 rpm y 4°C; se retiró el sobrenadante usando una micropipeta y se colocó en un frasco ámbar previamente rotulado y cubierto con papel aluminio; el anterior proceso se repitió 3 veces.

Se transfirió el sobrenadante almacenado en el frasco ámbar, a un balón aforado de 25 mL y se aforó con acetona 80% (v/v) previamente enfriada. Se procedió a realizar lecturas de absorbancia a las longitudes de onda 663 nm, 647 nm y 470 nm (el blanco fue acetona al 80% v/v). El contenido de clorofilas y carotenoides expresados como mg/L se determinaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones propuestas por Lichtenthaler (Solarte, et al., 2010):

- Clorofila a =  $(12,25 \times A_{663\text{nm}}) - (2,79 \times A_{647\text{nm}})$
- Clorofila b =  $(21,5 \times A_{647\text{nm}}) - (5,1 \times A_{663\text{nm}})$

- Clorofila total =  $(7,15 \times A_{663\text{nm}}) + (18,7 \times A_{647\text{nm}})$
- Carotenoides =  $((1000 \times A_{470\text{nm}}) - (1,18 \times \text{Cla}) - (85,02 \times \text{Clb})) / 198$

Finalmente la concentración de clorofilas y carotenoides en el material vegetal se calculó multiplicando las concentraciones obtenidas de las ecuaciones anteriores por el volumen al cual se aforó, en litros (0,005 L), y dividiendo por la masa inicial de material vegetal utilizado.

De la misma forma, se colectó material foliar (aproximadamente 30 g) para determinar contenido de azúcares totales (Moreno, et al., 2010) y contenido de Nitrógeno mediante el método micro Kjeldahl (Bremmer & Mulvaney, 1982), durante las etapas fenológicas de botón floral, flor abierta, fruto cuajado, fruto verde, fruto pintón y fruto morado. Estos análisis fueron solicitados a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

#### **6.4 Metodología Objetivo 2: Analizar características físicas, bioquímicas y de calidad, en frutos de *R. glaucus*, en relación a los factores edafoclimáticos de dos localidades del Encano-Nariño**

A partir de los botones florales marcados en ambas zonas de estudio se colectaron frutos verdes, pintones, rojos y morados en excelente estado, de acuerdo a NTC, 4106. Los frutos fueron transportados a los laboratorios de la Universidad de Nariño en una nevera de icopor, para realizar análisis físicos y químicos.

Para los análisis físicos a partir de fruto cuajado cada 8 días se colectó 20 frutos para determinar peso fresco, peso seco, diámetro polar y diámetro ecuatorial, con el uso de una balanza analítica electrónica de  $\pm 0,001$  g de precisión y un calibrador Vernier electrónico de  $\pm 0,01$  mm de precisión respectivamente. Con el uso de estos datos se construyeron curvas de crecimiento. El porcentaje de humedad en los estados fenológicos fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado se determinó teniendo en cuenta los pesos frescos y secos de los frutos, el peso seco se determinó después de someter los frutos a 70 °C durante 24 h.

Los análisis químicos, se realizaron para las etapas fenológicas fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado. Para lo cual las muestras de frutos fueron enviadas a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, en donde se solicitaron análisis de ácidos orgánicos (a través de cromatografía líquida-HPLC), Ph (con pHmetro), acidez total titulable (titulación con NaOH 0,1N y fenolftaleína), grados Brix o sólidos solubles totales (con refractómetro) y carbohidratos totales (Melgarejo, 2010). Con los datos de grados Brix y acidez total titulable se estableció la relación o índice de madurez, la cual indica el avance de la madurez en los frutos, según la fórmula:

$$IM = \frac{\text{Sólidos solubles totales (°Brix)}}{\text{Acidez Total Titulable}}$$

## 6.5 Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue de tipo muestral, teniendo en cuenta los factores, 1) Localidad, con dos niveles: Motilón y San José. 2) Tipo de rama, con tres niveles: rama hembra (productiva), rama macho y rama látigo (vegetativas). 3) Etapa fenológica, con ocho niveles: botón floral, flor abierta, flor senescente, fruto cuajado, fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado.

A cada variable, fisiológica y ambiental, se realizó la respectiva estadística descriptiva y se aplicó la prueba estadística Shapiro-Wilks, que comprueba la normalidad de los datos. Para el tratamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico Statistix 9,0, tomando un alfa igual a 0,05 para todas las pruebas estadísticas.

En este sentido, para comprobar las diferencias o semejanzas entre localidades en cuanto a factores ambientales, las variables ambientales: temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, humedad relativa y déficit de presión de vapor se sometieron a una prueba estadística t-student.

El efecto de los factores etapa fenológica (botón floral, flor abierta, flor senescente, fruto cuajado, fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado) y localidad (Motilón y San José), y su interacción sobre las variables relacionadas con fenología (número de días y grados-día acumulados), clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenoides, fue obtenido por un modelo factorial.

El efecto de los factores etapa fenológica del fruto (fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado) y localidad (Motilón y San José), y su interacción sobre las variables de producción (número y peso de frutos por planta), porcentaje de humedad de los frutos, contenido de ácido oxálico, ácido málico, ácido cítrico, ácido ascórbico, sólidos solubles totales (°Brix), acidez total titulable, pH y carbohidratos totales, fue obtenido por un modelo factorial, el cual presenta la siguiente forma general:

- $$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$  es la  $j$ -ésima respuesta de la replicación asociada al  $i$ -ésimo tratamiento;  $\mu$  es la media global;  $A_i$  es el efecto del nivel  $i$  del primer factor;  $B_j$  es el efecto del nivel  $j$  del segundo factor;  $(AB)_{ij}$  es la interacción entre ambos factores y representan el hecho de que el efecto de un determinado nivel de un factor sea diferente para cada nivel del otro factor;  $E_{ij}$  son las desviaciones aleatorias alrededor de las medias.

El efecto de los factores tipo de rama (rama productiva, vegetativa y látigo) y localidad (Motilón y San José), sobre las variables área foliar total, área foliar específica, peso seco foliar total, peso seco de la rama y número de ramas nuevas, fue obtenido por una prueba no paramétrica: Friedman de dos factores.

Las curvas de crecimiento vegetativo basado en área foliar total, peso seco foliar total y área foliar específica se ajustaron a un modelo polinomial de segundo grado. Las curvas de crecimiento basadas en el peso seco propio de cada tipo de rama se ajustó a un modelo logístico de tres parámetros, al igual que las curvas de crecimiento para los frutos basadas en diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso fresco y peso seco.

Finalmente, para el primer objetivo, que está relacionado con el crecimiento vegetativo y metabolismo de *R. glaucus*, se realizó un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión múltiple paso a paso con las variables ambientales y las variables fisiológicas. De la misma manera para el segundo objetivo, que está relacionado con las características fisicoquímicas de los frutos de *R. glaucus*, se realizó un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión múltiple paso a paso con las variables climáticas y las variables fisicoquímicas de los frutos.

El modelo de regresión múltiple paso a paso, arroja como resultado una ecuación que indica las relaciones más significativas entre las variables independientes, que en este caso son las variables climáticas, con las variable dependientes, es decir aquella que están relacionadas con la fisiología de *Rubus glaucus*, de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = a + bX1 + cX2 + dX3 + eX4 + fX5 + gX6 + E_{ij(i)}$$

Donde:  $Y_{ij}$  es la variable a predecir;  $a, b, c, d, e, f$  y  $g$ , son los coeficientes de regresión;  $X1, X2, X3, X4, X5$  y  $X6$ , son las variables ambientales, es decir:  $\Delta$  Temperatura, Temperatura mínima, Temperatura máxima, Temperatura media, Humedad relativa y déficit de presión de vapor, y  $E_{ij(i)}$  es el error estándar.

Es de importancia mencionar que los análisis de Nitrógeno foliar y Carbohidratos totales, no tienen repeticiones, y en consecuencia no fueron incluidos en las pruebas estadísticas planteadas.

## 7 RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1 Variables ambientales

Durante el estudio en la localidad de Motilón se obtuvo una temperatura media, mínima y máxima de 14,15 °C, 10,41 °C y 17,87 °C respectivamente; mientras que en la localidad de San José se obtuvo una temperatura media, mínima y máxima de 14,77 °C, 9,55 °C y 19,95 °C respectivamente (Figura 3), encontrando diferencias significativas entre las localidades objeto de estudio para la temperatura media ( $gl = 36$ ;  $t = -2,21$ ;  $p = 0,03$ ), temperatura mínima ( $gl = 36$ ;  $t = 4,69$ ;  $p < 0,05$ ) y temperatura máxima ( $gl = 36$ ;  $t = -3,62$ ;  $p < 0,05$ ). Por otra parte en la localidad de San José se obtuvo una humedad relativa promedio semanal de 84,14 %, sin diferenciarse de Motilón con una humedad relativa promedio semanal de 84,17 % ( $gl = 30$ ;  $t = 0,02$ ;  $p = 0,98$ ) (Figura 4). Por último, en la localidad de San José el valor promedio semanal de déficit de presión de vapor fue de 0,27 KPa, mientras que en Motilón fue de 0,26 KPa, sin presentarse diferencias significativas ( $gl=30$ ;  $t=-0,73$ ;  $p=0,47$ ) (Figura 5).

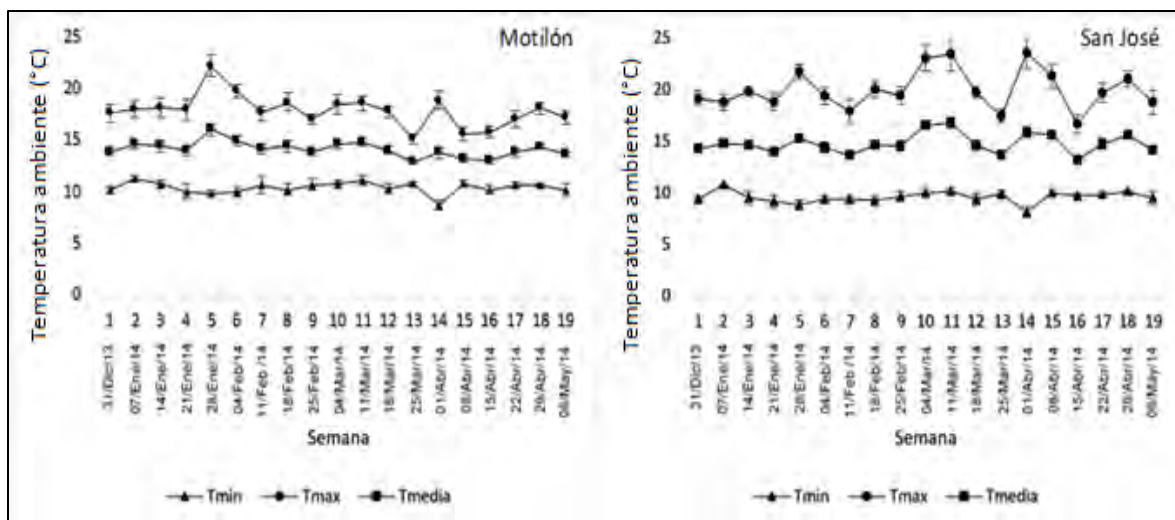


Figura 3. Tendencia de la Temperatura ambiente (°C) en las localidades de Motilón y San José. Promedios semanales con error estándar

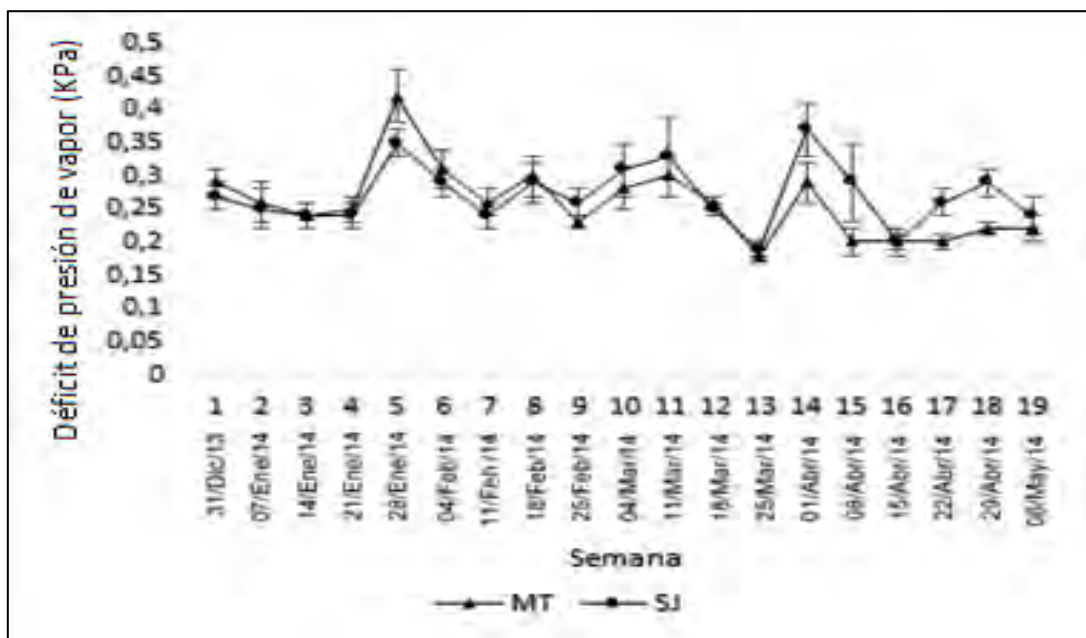


Figura 5. Tendencia de la Humedad relativa (%) en las localidades de Motilón (MT) y San José (SJ). Promedios semanales con error estándar

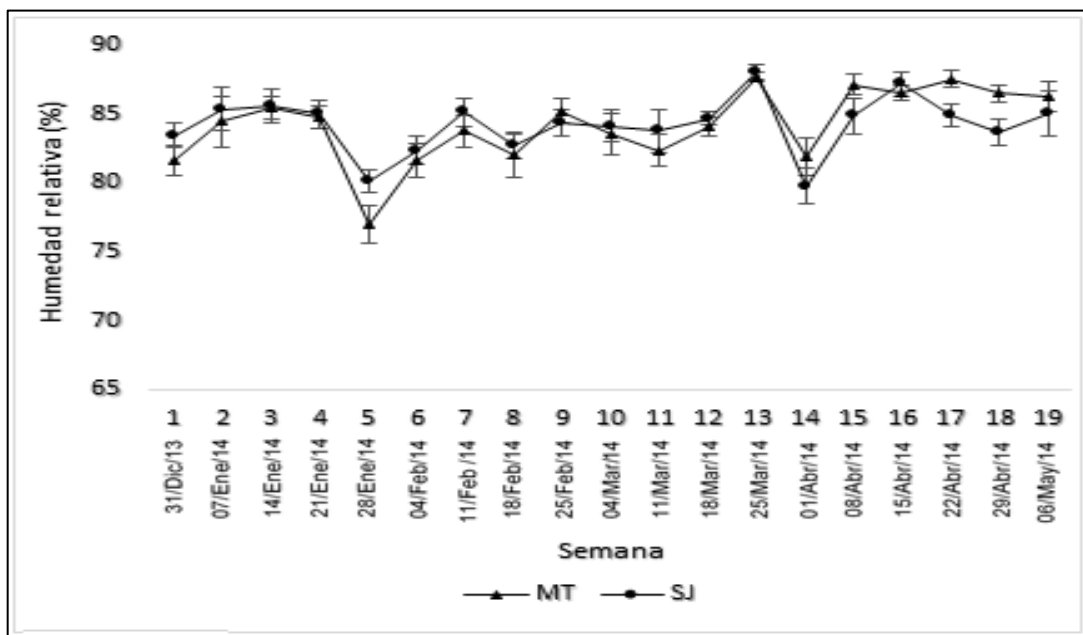


Figura 4. Tendencia del Déficit de presión de vapor DPV (KPa) en las localidades de Motilón (MT) y San José (SJ). Promedios semanales con error estándar

Los análisis edáficos demostraron que los suelos de ambas localidades presentan una textura francoarcilloarenosa, con un pH de característica ácida, y con valores por debajo del óptimo. Comprando entre localidades el suelo de Motilón presentó valores superiores de Fosforo, Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Magnesio y de Cobre que el suelo de la localidad de San José. Aunque, el suelo de la localidad de San José registró porcentajes de materia orgánica, carbono orgánico y Nitrógeno total superiores a los encontrados en Motilón. Como dato principal, ambas localidades presentaron valores de Hierro bastantes superiores al óptimo. Adicionalmente, en la localidad de San José únicamente los valores de Fosforo, Potasio y Cobre estuvieron dentro de los óptimos; mientras que en Motilón los valores de Calcio, Magnesio y Cobre estuvieron dentro de los óptimos (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis químico de la fertilidad del suelo en los cultivares de San José y Motilón (Resultados del análisis practicado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Nariño).

| Parámetro        | Unidad de medida | San José | Motilón | Optimo    |
|------------------|------------------|----------|---------|-----------|
| pH               |                  | 4,89     | 5,25    | 5,5 - 6,5 |
| Fosforo          | mg/Kg            | 13,3     | 53,7    | 10 - 40   |
| Calcio           | cmol+/Kg         | 1,9      | 7,99    | 4 - 20    |
| Magnesio         | cmol+/Kg         | 0,28     | 1,26    | 1 - 10    |
| Potasio          | cmol+/Kg         | 0,33     | 1,84    | 0,2 - 1,5 |
| Hierro           | mg/Kg            | 135      | 295     | 10 - 50   |
| Manganeso        | mg/Kg            | 2,62     | 3,78    | 5 - 50    |
| Cobre            | mg/Kg            | 1,83     | 9,65    | 1 - 20    |
| Zinc             | mg/Kg            | 2,79     | 1,74    | 3 - 15    |
| Materia orgánica | %                | 13,8     | 9,62    | 5         |
| Nitrógeno total  | %                | 0,49     | 0,36    | -----     |
| Carbono orgánico | %                | 8,02     | 5,58    | -----     |

Bajo una humedad relativa ambiental entre 70 - 80%, y bajo temperaturas entre 11 a 18 °C la especie *R. glaucus* puede presentar un desarrollo normal (Alzate et al., 2010), del mismo modo, en Ecuador la temperatura ideal para el mejor desarrollo fisiológico y rendimientos óptimos de cultivares de mora de Castilla es de 15 a 20 °C (Cárdenas, 2013); aunque Jiménez et al., (2009) reportaron que las condiciones óptimas para un alto rendimiento son una temperatura entre 16 y 18 °C. En cuanto al componente edáfico, Franco y Giraldo (2002) mencionan que suelos con una estructura franca, rica en

Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y en materia orgánica, permiten que los cultivos de *R. glaucus* presenten un buen rendimiento. Según los anteriores reportes se puede decir que las condiciones edafoclimáticas de las localidades de San José y Motilón no son las adecuadas para que la especie *R. glaucus* muestre los mejores rendimientos.

En relación a lo anterior y teniendo en cuenta que los mejores rendimientos y calidad de frutos de *R. glaucus* se consiguen entre los 1800 y 2400 msnm (Franco & Giraldo, 2002) las localidades Motilón y San José están ubicadas sobre los 2800 msnm y a estas alturas la especie *R. glaucus* está expuesta a un mayor riesgo de heladas y a los efectos que éstas ocasionan en los tallos y las hojas (Cárdenas, 2013; Franco & Giraldo, 2002) limitando el rendimiento y las características fisicoquímicas de los frutos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN, OBJETIVO ESPECÍFICO 1**

### **7.2 Descripción de la fenología productiva de *Rubus glaucus***

Las etapas fenológicas que se registraron en el presente estudio fueron:



Figura 6. Estados fenológicos descritos para *Rubus glaucus* con el correspondiente estado según la escala BBCF. Botón (B), Flor abierta (FA), Flor senescente (FS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM)

- Botón floral (B): son aquellas estructuras que al desarrollarse forman las flores; de característica hinchada, con un diámetro aproximadamente de 0,5 cm. Etapa correspondiente al estado A2 según Graber (1997) y al estado 51 según la escala BBCH.

- Flor abierta (FA): la flor expone sus pétalos blancos expandidos totalmente. Etapa que corresponde al estado B2 según Graber (1997) y al estado 61 según la escala BBCH.
- Flor senescente (FS): etapa caracterizada principalmente por la pérdida de pétalos, con pistilos de color blanquecino y estambres de color café, los sépalos adquieren una curvatura hacia su envés. Esta etapa corresponde al estado C2 según Graber (1997) y al estado 69 según la escala BBCH.
- Fruto cuajado (FC): es la etapa inicial de la formación de frutos, se observa pistilos de color rojo y un pequeño fruto. Etapa correspondiente al estado D1 según Graber (1997) y al estado 71 según la escala BBCH.
- Fruto verde (FV): se observa un pequeño fruto con las drupeolas distinguibles, ya no se observa la presencia de pistilos rojos. Etapa correspondiente al estado 74 según la escala BBCH.
- Fruto pintón (FP): en esta etapa se observa un fruto con la mitad teñida de rojo y la otra mitad de color verde. En esta etapa la síntesis de pigmentos como carotenoides y antocianinas comienza a presentarse. Etapa correspondiente al estado 81 según la escala BBCH.
- Fruto rojo (FR): se observa un fruto de color rojo intenso en su totalidad. En este punto los contenidos de clorofila se ven opacados por los pigmentos sintetizados. Esta etapa corresponde al estado E según Graber (1997) y al estado 83 según la escala BBCH.
- Fruto morado (FM): el color característico que presenta esta etapa es consecuencia de un aumento en la concentración de azúcares, los sépalos se han secado completamente, adquiriendo un color café. Esta etapa corresponde al estado F según Graber (1997) y al estado 89 según la escala BBCH.

### 7.3 Fenología de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón y San José

En ambas localidades, Motilón y San José, las etapas botón floral, flor abierta, flor senescente y fruto cuajado, se presentaron desde diciembre del 2013 (fecha en que se marcó los botones florales) hasta mediados del mes de enero del 2014. La etapa fenológica fruto

verde, fue la que requirió más tiempo, iniciando a mediados del mes de Enero hasta finales del mes de Febrero. Finalmente las etapas fenológicas: fruto pintón, fruto rojo y fruto maduro, se presentaron prácticamente desde inicios del mes de Marzo hasta mediados del mismo mes. En San José, el tiempo promedio que tarda un botón floral de 0,5 cm de diámetro en convertirse en fruto maduro es de 83,98 días, de los cuales 16,74 días fueron requeridos para la etapa de floración y 67,24 días para la etapa de fructificación. En Motilón el tiempo requerido por un botón floral en convertirse en fruto maduro fue de 86,23 días, de los cuales 16,33 días fueron requeridos para la etapa de floración y 69,9 días para la etapa de fructificación (Figura 7). Por último, un análisis de varianza demostró que la interacción entre etapa fenológica y localidad tienen un efecto significativo sobre el tiempo de las etapas fenológicas de *R. glaucus* ( $gl=7$ ;  $f=1,21$ ;  $p=0,049$ ) (Anexo C). Esto significa que existen diferencias entre localidades para cada etapa fenológica evaluada.



Figura 7. Duración de cada estado de desarrollo evaluado para *Rubus glaucus* en San José (SJ) y Motilón (MT): Botón (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM)

Por otra parte, los resultados mostraron principalmente que en ambas localidades la etapa fenológica de fruto verde es la que requiere un mayor número de grados-día acumulados, por el contrario las etapas fenológicas como botón floral, flor abierta y flor senescente, requieren un menor número de grados-día acumulados. Adicionalmente, en la localidad de Motilón una yema o botón floral requiere un mayor número de grados-día acumulados para llegar al estado de fruto morado, ocurriendo lo contrario en la localidad de San José (Tabla 2). Un análisis de varianza demostró que la interacción entre etapa fenológica y localidad tienen un efecto significativo sobre el número de Grados-día acumulados de las etapas fenológicas de *R. glaucus* ( $gl=7$ ;  $f=0,35$ ;  $p=0,048$ ) (Anexo D), lo que significa que existen diferencias entre localidades para cada etapa fenológica evaluada.

Tabla 2. Grados-Día acumulados (GDA) y error estándar (EE), necesarios para completar cada etapa fenológica evaluada en *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón y San José de El Encano, Pasto Nariño, ( $T_b=5,84^{\circ}\text{C}$ ).

| ETAPA<br>FENOLOGICA | MOTILON    |      | SAN JOSE   |      |
|---------------------|------------|------|------------|------|
|                     | GDA        | EE   | GDA        | EE   |
| Botón floral        | 27,01      | 7,13 | 22,3       | 9,11 |
| Flor abierta        | 13,57      | 3,29 | 20,81      | 3,99 |
| Flor senescente     | 19,77      | 4,63 | 17,02      | 3,33 |
| Fruto cuajado       | 67,5       | 4,49 | 66,47      | 3,33 |
| Fruto verde         | 344,3      | 6,67 | 338,1      | 8,99 |
| Fruto pintón        | 67,35      | 5,27 | 69,69      | 8,59 |
| Fruto rojo          | 71,84      | 8,56 | 73,79      | 8,63 |
| Fruto morado        | 62,7       | 5,51 | 62,71      | 6,64 |
| Total               | 674,04 GDA |      | 670,89 GDA |      |

Mejía (2011) en un estudio realizado en Pichincha-Ecuador a una altura de 2348 msnm, con una temperatura promedio de  $17,2^{\circ}\text{C}$  reportó que a una yema floral le toma en promedio 19,49 días en llegar a floración, después de 5,5 días se presenta la etapa fenológica fruto cuajado, después de 5,69 días se forma el fruto verde, después de 13,19 días se forma el fruto pintón, después de 20,26 días se forma el fruto rojo y después de 9,9 días se forma el fruto maduro; en promedio a una yema floral le toma 74,03 días en llegar a fruto maduro. De acuerdo a Grijalba et al., (2010) en un estudio realizado en Cajicá-Cundinamarca a una altura de 2580 msnm, con una temperatura promedio de  $12,69^{\circ}\text{C}$ ,

reportaron que a una yema floral le toma 7,5 días en llegar a flor abierta, después de 3,2 días se presenta la etapa fenológica de flor senescente, después de 2,0 días se forma el fruto cuajado y finalmente después de 64,8 días se forma el fruto maduro; en promedio una yema floral se demora 77,5 días en convertirse en fruto maduro.

Al comparar los resultados de los autores anteriores con los de esta investigación, se puede observar que a mayor altura el tiempo que necesita una yema floral en convertirse en fruto maduro es mayor, lo cual puede explicar que los cultivos de mora de las localidades de Motilón y San José hayan presentado un ciclo productivo superior a los 80 días. Grijalba, et al. (2010) y Mejía (2011) explican que los factores altitud y temperatura afectan las etapas fenológicas de *Rubus glaucus*, señalando que en zonas más cálidas el desarrollo vegetal es más rápido contrario a las zonas frías, esto a su vez incide en el desarrollo y maduración del fruto, lo cual tiene sentido si tenemos en cuenta que: Mejía (2011) a una altura de 2348 msnm encontró un periodo de fructificación igual a 49,04 días; Grijalba et al., (2010) a una altura de 2580 msnm encontró un periodo de fructificación igual a 64,8 días; mientras que en la localidad de San José ubicada a una altura de 2818 msnm se encontró un periodo de fructificación igual a 67,24 días y en Motilón con una altura de 2850 msnm se encontró un periodo de fructificación de 69,9 días.

Al respecto, Fischer (2000), Fernández & Johnston (2006), y Alonso et al., (2008) señalan que a mayores altitudes se retrasa el desarrollo de los frutos, lo que podría explicar las diferencias entre los resultados de este estudio y los resultados de otros estudios (mencionados anteriormente) realizados en otras regiones. Resaltando principalmente la etapa de fruto verde que a diferencia de las restantes etapas fenológicas fue la que mayor número de días demandó para completar su ciclo fenológico (Figura 7). Por otro lado, las diferencias encontradas entre ambas localidades con respecto al periodo de floración están sujetas a las diferencias en la temperatura ambiente encontradas entre ambas localidades, al respecto, Fernández & Johnston (2006) señalan que la inducción e incremento de la floración, así como el término de dormancia en yemas necesitan de temperaturas bajas, lo que explica el hecho de que en la localidad de Motilón con una temperatura ambiental de

14,15°C menor a la registrada en San José (14,77°C) la etapa de floración haya requerido de un menor tiempo para completar su ciclo.

En cuanto a los grados día acumulados, los valores encontrados están influenciados por la temperatura media ambiental en cada zona de estudio (Ordúz-Rodríguez et al., 2010).. En este sentido, podemos observar que en la localidad de San José donde se registró una temperatura media de 14,77 °C un botón floral requiere un menor número de grados día para completar su desarrollo hasta fruto morado, en cambio, en la localidad de Motilón donde se registró una temperatura media de 14,15 una botón floral necesita de un mayor número de grados-día para llegar al estado de fruto morado. Al respecto, Eraso (1988) señala que temperaturas ambientales bajas retardan la acumulación de unidades de calor las cuales son necesarias para completar una etapa fenológica en específico y principalmente estas unidades de calor son necesarias para un mayor y rápido desarrollo del fruto.

En consecuencia, se puede afirmar que las plantas de mora, *R. glaucus*, a pesar de presentar un mismo origen y edad, ajustan sus respuestas fenológicas a las condiciones de temperatura de cada localidad, condición que se vio reflejada principalmente en los grados día acumulativos que se necesitan en cada localidad para lograr el desarrollo del fruto partiendo de la etapa fenológica: botón floral.

#### **7.4 Crecimiento vegetativo de *Rubus glaucus***

Los índices alométricos permitieron establecer que el área foliar y el peso seco foliar de los tres tipos de ramas de *Rubus glaucus*, se pueden explicar en términos del producto de los ejes de las hojas, tanto en la localidad de Motilón con en San José (Anexo 1). Adicionalmente, los índices alométricos también permitieron establecer que el peso seco de los tallos se puede explicar en términos de longitud y/o diámetro basal del tallo (Anexo 2). De este modo, los anteriores índices permitieron determinar el crecimiento vegetativo de *Rubus glaucus* durante un ciclo de crecimiento.

A lo largo del estudio, los distintos tipos de ramas o tallos (macho, hembra y látigo) de *Rubus glaucus* presentaron cambios en su área foliar total, peso seco foliar total y área foliar específica, ajustándose a un modelo de crecimiento polinomial de segundo grado, de la forma:  $Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$ , donde:

Y: variable dependiente.

X: variable independiente.

a, b, c: constantes.

- a: termino independiente.
- b: coeficiente lineal.
- c: coeficiente cuadrático.

A nivel general se observó que el área foliar total y el peso seco foliar total de cada tipo de rama, tienden a aumentar hasta un punto, a partir del cual se presenta una disminución. Para el caso del área foliar específica (SLA), los valores encontrados tienden a disminuir a partir del primer día de evaluación, aunque para el caso de las ramas hembra y látigo de San José, los valores de SLA describieron un comportamiento diferente, tendiendo a disminuir desde el primer día de evaluación hasta un cierto punto a partir del cual se presenta un aumento. Finalmente, un análisis de Friedman demostró que los factores localidad y tipo de rama no posee un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) sobre el área foliar total (Anexo E), peso seco foliar totala (Anexo F) y sobre el área foliar específica (Anexo G), lo que significa que las ramas látigo, las ramas vegetativas o macho y las ramas productivas o hembra de ambas localidades presentan similitud en sus parámetros de crecimiento basado en el tejido foliar.

En cuanto al peso seco propio de cada tipo de rama en ambas localidades se observó que este parámetro tiende a aumentar hasta estabilizarse, ajustándose a un modelo logístico de tres parámetros, expresado por la ecuación  $Y = a / (1 + \exp(b - c \cdot X))$  donde:

Y: Parámetro evaluado (variable dependiente).

X: Día de evaluación (variable independiente).

a, b, c: Constantes predichas por el modelo.

- a: Crecimiento máximo que puede alcanzar cada tipo de rama.
- b: Está relacionado con el tamaño al inicio de las mediciones en un tiempo ( $X_0$ ).
- c: Tasa de variación del crecimiento a lo largo del tiempo.

Finalmente, un análisis de Friedman demostró que los factores localidad y tipo de rama no posee un efecto significativo sobre el peso seco de cada tipo de rama ( $p > 0,05$ ) (Anexo H). Lo que significa que el peso seco de las ramas no varía entre los tres tipos de ramas, y a su vez no es influenciado por la localidad.

#### 7.4.1 Ramas macho de *Rubus glaucus*

En ambas localidades, Motilón y San José, el área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) se ajustó al modelo polinomial de segundo grado, con un  $R^2$  igual a 0,54 para la localidad de Motilón y 0,73 para San José. En la localidad de Motilón, el área foliar total según el modelo expuesto presentó un aumento hasta el día de evaluación 56, a partir del cual empezó a disminuir. En la localidad de San José el área foliar total de la rama según el modelo expuesto presentó un aumento hasta el día de evaluación 52, presentándose una consecuente disminución (Figura 8).

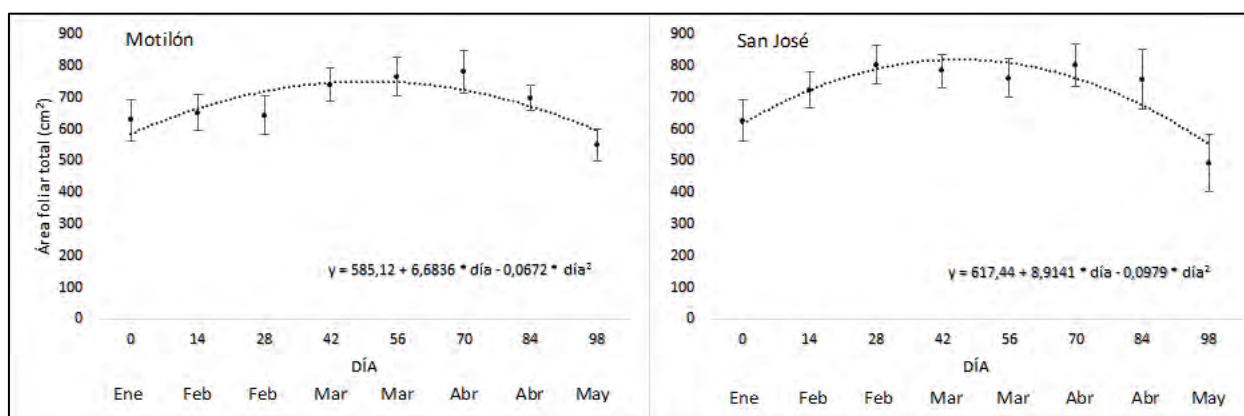


Figura 8. Curva de crecimiento vegetativo basado en Área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,54$ ) y San José ( $R^2=0,73$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En ambas localidades el peso seco foliar total (g) se ajustó al modelo polinomial de segundo grado, con un  $R^2$  igual a 0,54 para Motilón y 0,74 para San José. Según el modelo, en Motilón esta variable aumentó hasta el día de evaluación 56, mientras que en San José hasta el día de evaluación 42; a partir de estos puntos el peso seco foliar total presentó una disminución. (Figura 9).

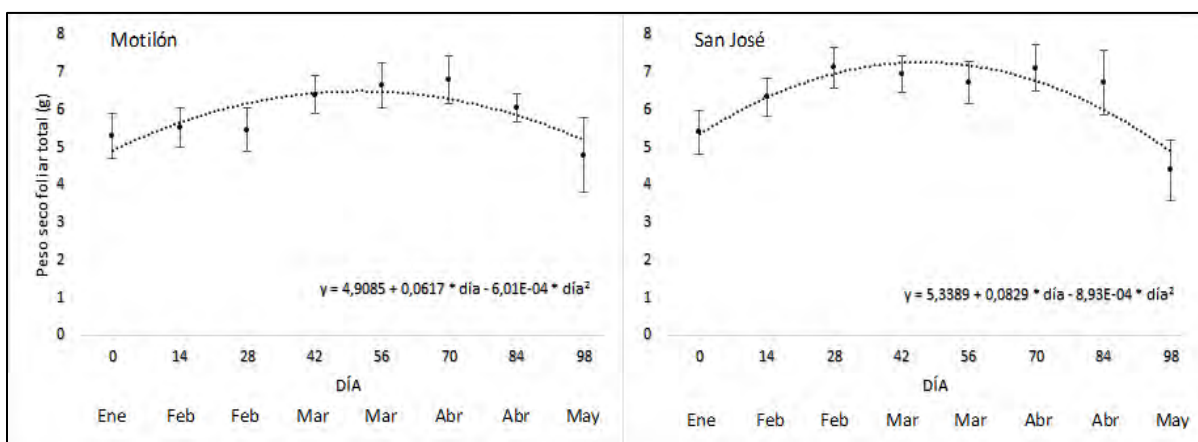


Figura 9. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco foliar total (g) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,54$ ) y San José ( $R^2=0,74$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En el caso del área foliar específica, esta variable también se ajustó al modelo polinomial de segundo grado, con un  $R^2$  igual a 0,87 para Motilón y 0,70 para San José. En ambas localidades se presentó una disminución desde el primer día de evaluación. En Motilón pasó de un valor promedio de 119,03  $\text{cm}^2/\text{g}$  a 115,10  $\text{cm}^2/\text{g}$  para el día de evaluación 98; mientras que en San José pasó de un valor promedio de 116,48  $\text{cm}^2/\text{g}$  a 112,30  $\text{cm}^2/\text{g}$  para el día 98 (Figura 10).

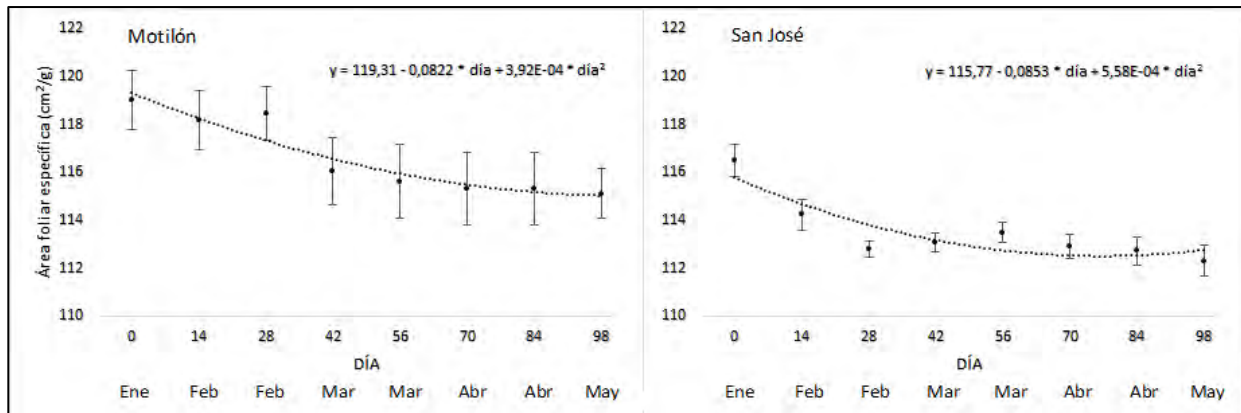


Figura 10. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar específica (cm<sup>2</sup>/g) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,87$ ) y San José ( $R^2=0,70$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

Por otra parte, en ambas localidades la curva de crecimiento para el peso seco de las ramas se ajustó al modelo logístico de 3 parámetros, con un  $R^2$  igual a 0,84 para Motilón y 0,87 para la localidad de San José. El modelo nos muestra que en ambas localidades el peso seco de la rama macho presentó un incremento desde el inicio del estudio, por otra parte, el modelo también nos informa que las ramas macho de Motilón llegarían a presentar un mayor peso seco, aunque las ramas macho de San José llegarían a presentar una mayor velocidad de crecimiento (Figura 11).

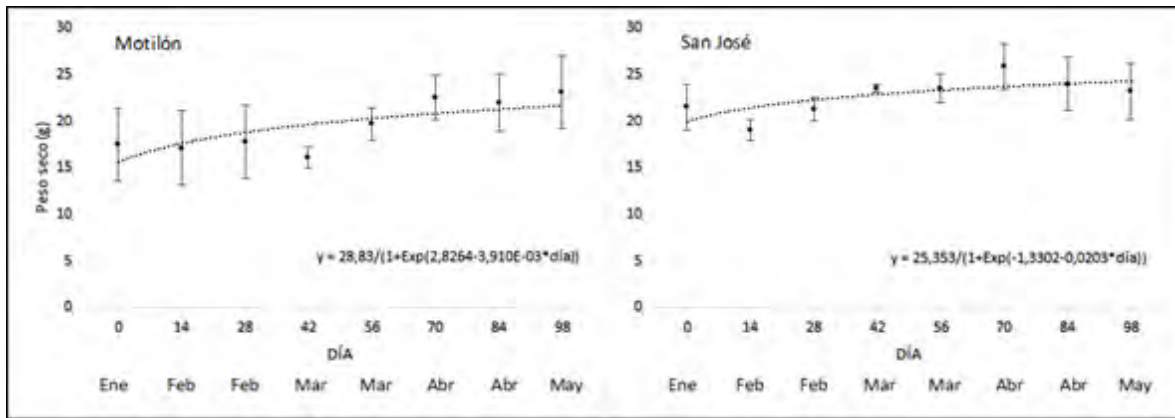


Figura 11. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco (g) de ramas macho de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,84$ ) y San José ( $R^2=0,87$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

#### 7.4.2 Ramas hembra de *Rubus glaucus*

En ambas localidades, el área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) se ajustó al modelo polinomial de segundo grado, con un  $R^2$  igual a 0,90 para la localidad de Motilón y 0,76 para San José. Según el modelo en Motilón el área foliar total aumentó hasta el día de evaluación 56 seguido de una disminución; mientras que en la localidad de San José esta variable aumento hasta el día 42 seguido también de una disminución (Figura 12).

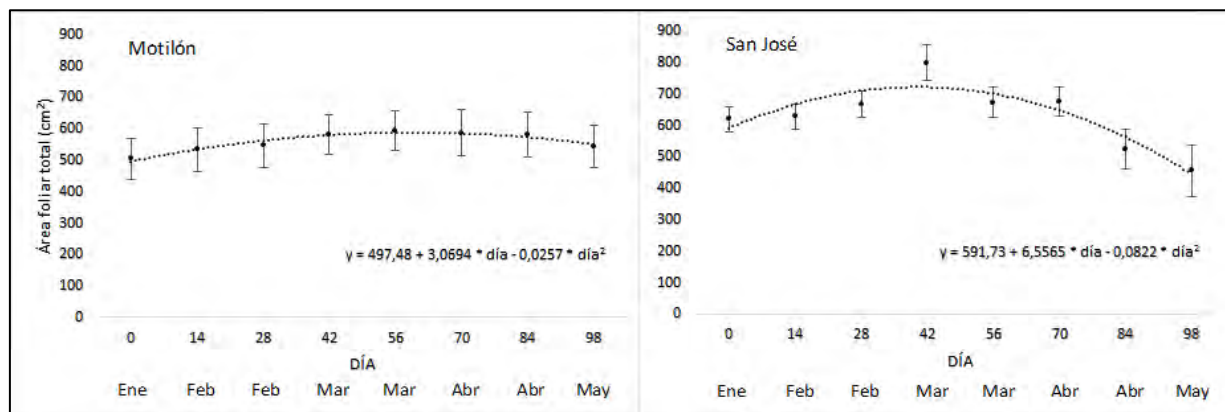


Figura 12. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar total (cm<sup>2</sup>) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón (R<sup>2</sup>=0,90) y San José (R<sup>2</sup>=0,76). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En ambas localidades el peso seco foliar total (g) se ajustó al modelo polinomial de segundo orden, con un R<sup>2</sup> igual a 0,92 para Motilón y 0,71 para San José. Según el modelo, en la localidad de Motilón el peso seco foliar total de las ramas hembra aumentó hasta el día de evaluación 70, mientras que en San José aumentó hasta el día 42; a partir de estos puntos la variable tiende a disminuir (Figura 13).

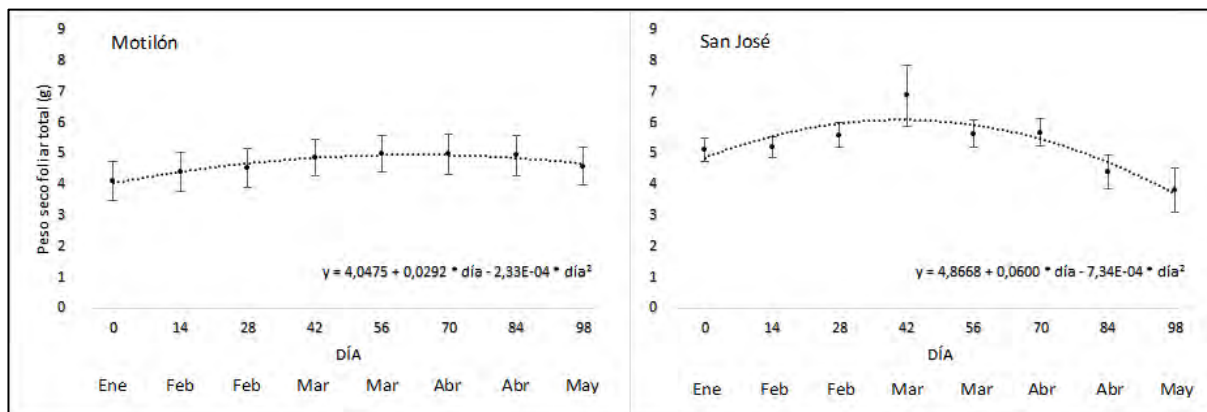


Figura 13. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco foliar total (g) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,92$ ) y San José ( $R^2=0,71$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En el caso del área foliar específica, esta variable se ajustó al modelo polinomial de segundo orden, con un  $R^2$  igual a 0,98 para Motilón y 0,68 para San José. Según el modelo, en la localidad de Motilón esta variable presentó una disminución desde el primer día de evaluación. Por el contrario, en la localidad de San José el área foliar específica tiende a disminuir hasta el día de evaluación 42, seguido de un aumento hasta el día 98 (Figura 14).

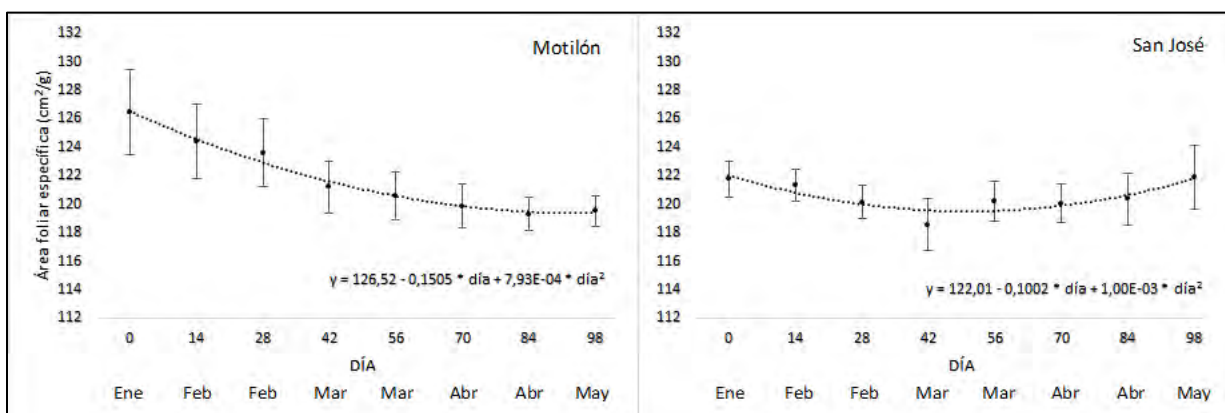


Figura 14. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Área foliar específica (cm<sup>2</sup>/g) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón (R<sup>2</sup>=0,98) y San José (R<sup>2</sup>=0,68).

En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En ambas localidades la curva de crecimiento para el peso seco de las ramas se ajustó al modelo logístico de 3 parámetros, con un R<sup>2</sup> igual a 0,87 para Motilón y 0,92 para la localidad de San José. Según el modelo de crecimiento las ramas hembra de San José llegarían a presentar un mayor peso seco, sin embargo, las ramas hembra de Motilón presentarían una mayor velocidad de crecimiento. Los modelos nos indican que el peso seco de las ramas hembra de *Rubus glaucus* en ambas localidades incrementa desde el primer día de evaluación con una tendencia a estabilizarse (Figura 15).

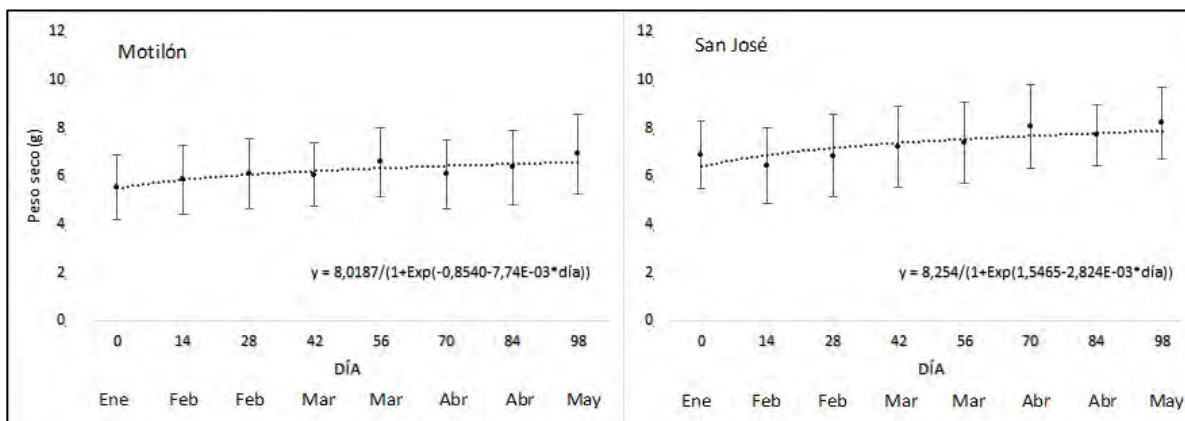


Figura 15. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Peso seco (g) de ramas hembra de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,87$ ) y San José ( $R^2=0,92$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación.

#### 7.4.3 Ramas látigo de *Rubus glaucus*

En ambas localidades, el área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) se ajustó al modelo polinomial de segundo grado, con un  $R^2$  igual a 0,75 para la localidad de Motilón y 0,92 para San José. Según el modelo En Motilón, el área foliar total, aumenta hasta el día de evaluación 56, punto a partir del cual tiende a disminuir, mientras que en la localidad de San José, esta variable aumenta hasta el día de evaluación 42, punto a partir del cual también se presenta una disminución (Figura 16).

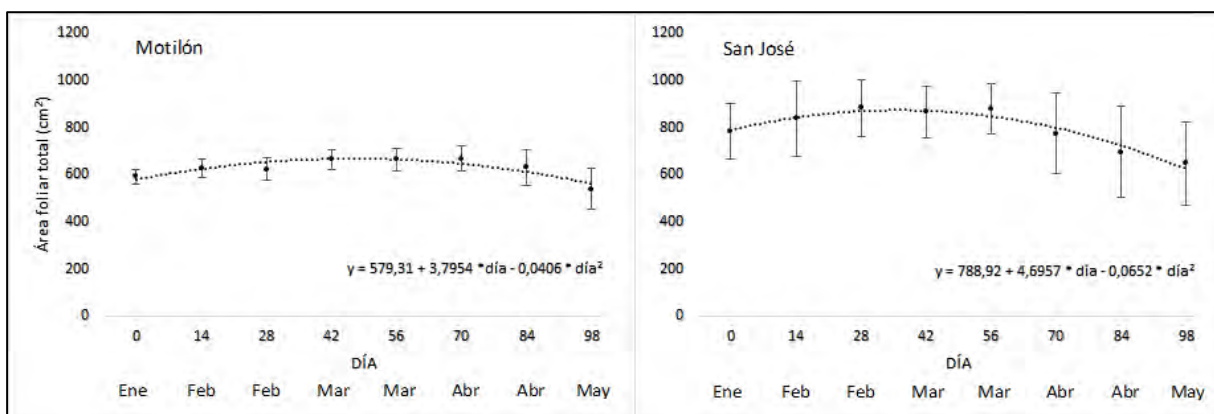


Figura 16. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Área foliar total (cm<sup>2</sup>) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,75$ ) y San José ( $R^2=0,92$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En ambas localidades, Motilón y San José, el peso seco foliar total (g) se ajustó al modelo polinomial de segundo orden, con un  $R^2$  igual a 0,74 para Motilón y 0,90 para San José. Según el modelo, en la localidad de Motilón el peso seco foliar total (g) presentó un aumento hasta el día 56, mientras que en San José aumenta hasta el día de evaluación 42, a partir de estos puntos la variable presenta una disminución (Figura 17).

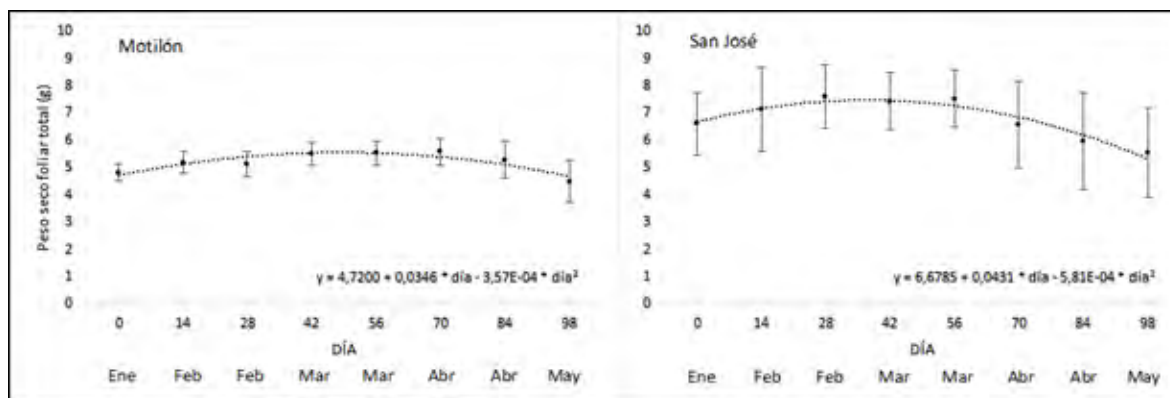


Figura 17. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Peso seco foliar total (g) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,74$ ) y San José ( $R^2=0,90$ ). En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

En ambas localidades el área foliar específica se ajustó al modelo polinomial de segundo orden, con un  $R^2$  igual a 0,83 para Motilón y 0,56 para San José. Según el modelo, el área foliar específica en la localidad de Motilón presentó una disminución desde el primer día de evaluación, mientras en la localidad de San José esta variable disminuyó hasta el día de evaluación 42, punto a partir del cual se presenta un aumento en sus valores (Figura 18).

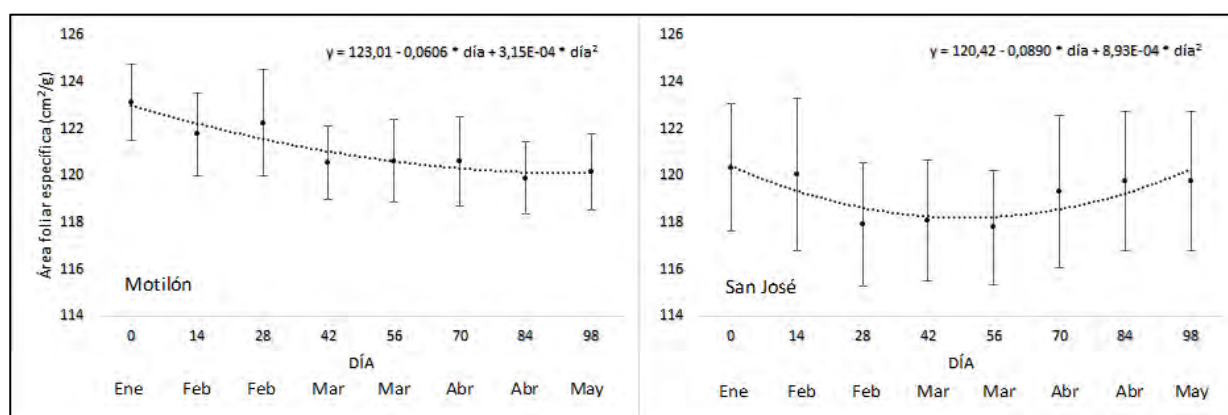


Figura 18. Curva de crecimiento vegetativo basado en el de Área foliar específica (cm²/g) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,83$ ) y San José ( $R^2=0,56$ ).

En las gráficas la línea punteada indica el modelo ajustado con la respectiva ecuación

Finalmente, en ambas localidades la curva de crecimiento para el peso seco de las ramas se ajustó al modelo logístico de 3 parámetros, con un  $R^2$  igual a 0,80 para Motilón y 0,98 para la localidad de San José. Según el modelo de crecimiento las ramas látigo de San José llegarían a presentar un mayor peso seco y una mayor velocidad de crecimiento, en comparación con las ramas látigo de Motilón. Según el modelos, en la localidad de Motilón el peso seco de las ramas látigo de *Rubus glaucus* tiende a estabilizarse desde el primer día de evaluación, mientras que en la localidad de San José, el peso seco de las ramas presenta un aumento desde el primer día de evaluación, mostrando también una tendencia a estabilizarse. (Figura 19).

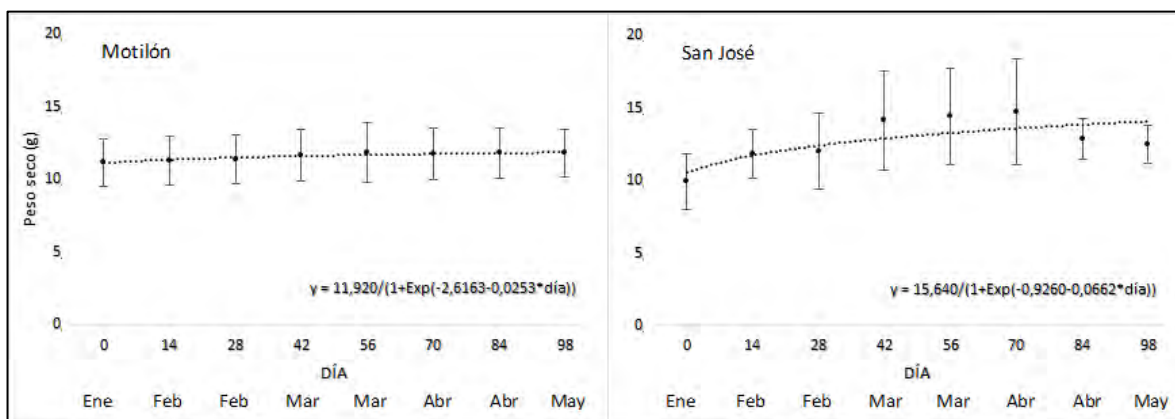


Figura 19. Curva de crecimiento vegetativo basado en el Peso seco (g) de ramas látigo de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón ( $R^2=0,80$ ) y San José ( $R^2=0,98$ ). En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación

En relación al crecimiento de las ramas macho, hembra y látigo basado en su peso seco, que se caracterizó por presentar una tendencia a estabilizarse, Aristizábal, (2008) reporta que la ganancia en altura de la planta disminuye a medida que ésta se aproxima a la emergencia del fruto, momento a partir del cual la altura de la planta se estabiliza, comportamiento que corresponde a un hábito de crecimiento determinado, al retomar los resultados podemos observar que en ambas localidades durante el mes de enero empieza a desarrollarse el fruto lo que incide en el crecimiento de los tres tipos de ramas. También puede estar influenciado por el número, tamaño, y actividad de los meristemos (Pérez et al., 2012), lo que puede explicar la tendencia por parte de las ramas a presentar un bajo crecimiento en los últimos días de evaluación. De manera general, a medida que avanza el ciclo de cultivo la participación de hojas y tallos (órganos fuente) en la materia seca total va disminuyendo como se observan en SLA, mientras que la participación de los órganos reproductivos y de almacenamiento (órganos demanda) va aumentando (Santos, 2010).

Teniendo en cuenta el parámetro  $a$  de los modelos de crecimiento con base en el peso seco para los tres tipos de ramas, podemos observar que las ramas macho en ambas localidades llegarían a alcanzar un peso seco superior a lo que podrían llegar a alcanzar las ramas látigo y hembra, lo cual concuerda con las observaciones reportadas por Franco y

Giraldo (2002), quienes mencionan que las ramas macho de *Rubus glaucus* presentan abundantes espinas y un diámetro superior al que presenta las ramas látigo y hembra.

Las tendencias de crecimiento basado en el área foliar total, peso seco foliar total, área foliar específica y peso seco de las ramas (con la tendencia a estabilizarse) de *R. glaucus* también se han observado en otros estudios, por ejemplo, en *Capsicum annuum* (Román, 2003); *Brachiaria híbrida* (Pérez et al., 2012); *Phaseolus vulgaris* (Warnock, Valenzuela, Trujillo, Madriz, & Gutiérrez, 2006); plátano hondureño del género *Musa* (Aristizábal, 2008); *Dactylis glomerata* (Wilson-García, Zavaleta-Mancera, López-Delgado, & Hernández-Garay, 2008) y en *Solanum tuberosum* (Santos 2010).

Según Pérez et al., (2012) la pérdida de biomasa de las hojas, por senescencia y descomposición aumentan conforme se incrementa la madurez de la planta, en consecuencia la producción de biomasa foliar aumenta hasta cierto momento a partir de lo cual comienza a declinar, lo que puede verse influenciado por el inicio de la emisión de nuevos tallos florales o por el desarrollo del fruto, ya que cuando empieza la formación del fruto los asimilados son distribuidos a estos, y esto produce que el crecimiento de las hojas se detenga y comience el proceso de senescencia (Álvarez, 2011; Santos, 2010), lo que explica los resultados observados sobre el área foliar total, peso seco foliar total y en consecuencia sobre el área foliar específica de cada tipo de rama de *R. glaucus*.

Wilson-García et al., (2008) reportan que en la senescencia foliar hay pérdida de clorofila y de actividad fotosintética; se reducen las proteínas y las citocininas responsables de promover la síntesis de proteínas cloroplásticas, y el tejido sufre estrés oxidativo con la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO). En relación a los valores de área foliar específica, Pérez et al., (2012) encontraron que el porcentaje de Nitrógeno en la hoja presenta una correlación positiva con área foliar específica y viceversa, en este sentido los autores reportan que la máxima área foliar específica coincide con la mayor concentración de Nitrógeno en la hoja, y debido al comienzo del desarrollo del fruto, el Nitrógeno es redistribuido de las hojas hacia estos órganos en desarrollo incluyendo tallos jóvenes (Galindo et al., 2006), y esta redistribución vendría a afectar el área foliar específica de las

distintas ramas de *Rubus glaucus*, que como se pudo observar el área foliar específica comienza a disminuir desde el primer día de seguimiento, tiempo que coincidió con el inicio del desarrollo del fruto, además esta disminución del área foliar específica también estaría sujeta al avance de la madurez de la planta (Pérez et al., 2012). En el mismo sentido, las tendencias del área foliar específica que se observó en las ramas hembra y látigo de la localidad de San José (Figuras 14 y 18), que fue diferente al resto (en el sentido en que disminuyó hasta el día de evaluación 56 presentando un aumento en adelante) también estarían sujetas a las relaciones de fuente-demanda, por lo cual podemos decir que a partir del día 56 se presentó una redistribución de nutrientes como es el caso del N hacia el tejido foliar de estas ramas (hembra y macho).

De manera global, se puede afirmar que el crecimiento vegetativo de *Rubus glaucus* de ambas localidades está influenciado por tejidos u órganos jóvenes en desarrollo, como es el caso del fruto. Adicionalmente, entre ambas localidades no se encontraron grandes diferencias en cuanto al crecimiento vegetativo de la especie *R. glaucus*; lo que indica que esta especie expresaría las mismas características de crecimiento en base al tallo y hojas en ambas localidades objeto de estudio, aun cuando se encontraron diferencias de temperatura media, máxima y mínima entre ellas.

## **7.5 Dinámica de producción de ramas nuevas en *Rubus glaucus***

En ambas localidades, San José y Motilón, se presentó una tendencia a aumentar la producción de ramas nuevas (RN) tipo: hembra (RH), macho (RM) y látigo (RL). Las ramas macho para el día de evaluación número 98 en San José alcanzaron un promedio de 7,2 ramas nuevas, mientras que en Motilón 7,4. Para el caso de las ramas hembra, en la localidad de San José alcanzaron un promedio de 3,8 y en Motilón 4,4 ramas nuevas. Finalmente en San José las ramas látigo obtuvieron un promedio de 5 ramas nuevas y en Motilón 4,6 (Figura 20). Un análisis de Friedman demostró que los factores localidad y tipo de rama no presentan un efecto significativo sobre la producción de ramas nuevas ( $p > 0,05$ ) (Anexo I), lo que significa que cada tipo de rama en las dos localidades desarrolla o produce el mismo número de ramas nuevas.

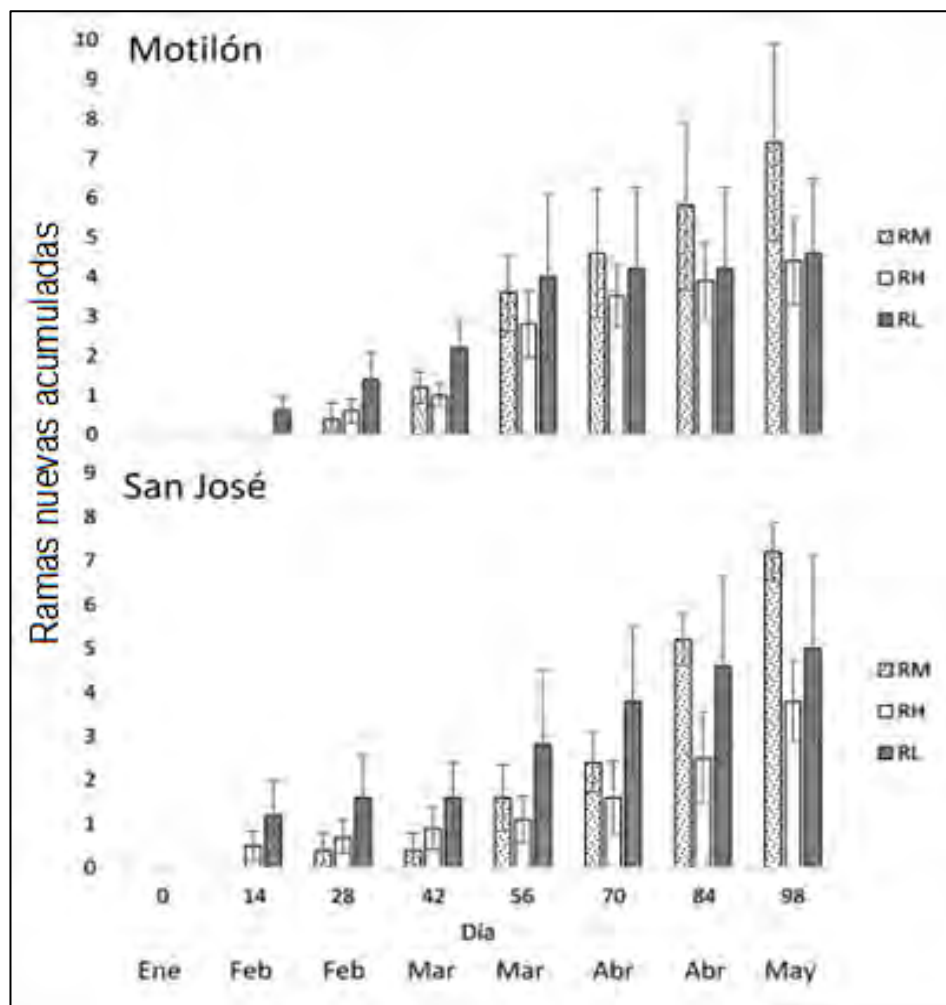


Figura 20. Producción de ramas nuevas con error estándar, en ramas macho (RM), ramas látigo (RL) y ramas hembra (RH) de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón y San José

Según Cenóz et al., (2005) bajas temperaturas permiten que se dé la ramificación, por otra parte, el rebrote de nuevos órganos después de una poda o deshoje está determinado en gran medida por la acción de la citocinina que tiene su origen en las raíces, la cual al almacenarse en las hojas promueve la multiplicación cloroplástica y la síntesis de proteína y de clorofila (Pentón, Martín, Oropesa, Noda, & Alonso, 2012), por lo cual a partir de este tipo de hormonas en las ramas se activa el crecimiento de nuevos tallos, que en el caso de *R. glaucus* pueden ser productivos o no.

La ausencia de diferencias encontradas en cuanto al número de ramas nuevas que pueden desarrollar los tres tipos de ramas en ambas localidades, permite concluir que las características ambientales de cada zona de estudio, no producen diferencias en el desarrollo vegetativo de *Rubus glaucus* que se está desarrollando en tierras altoandinas. Lo que a su vez indica, que los tres tipos de ramas de *R. glaucus* están produciendo el mismo número de yemas las cuales se van a convertir en nuevos tallos, lo que resalta la importancia de las podas para el buen manejo de los cultivares de mora de Castilla, en general la poda se realiza con el fin de manejar el crecimiento y lograr objetivos como obtener una buena estructura de soporte para los frutos, controlar la densidad y calidad de la fruta, facilitar la cosecha, eliminar daños y disminuir la presencia de enfermedades gracias a una mayor aireación, que lleve a la obtención de una producción adecuada (Franco & Giraldo 2002; Morales et al., 2001).

#### **7.6 Contenido foliar de Clorofila a, Clorofila b, Clorofila total y Carotenoides, Azúcares totales y Nitrógeno en *Rubus glaucus***

En ambas localidades se observó que el contenido foliar de clorofilas tiende a ser mayor durante las primeras etapas fenológicas, como por ejemplo en botón floral, flor abierta y flor senescente, y durante la etapa fenológica de fruto morado. Principalmente, en Motilón el tejido foliar en las etapas botón floral y fruto morado presentó un contenido de 0,44 mg/g y 0,56 mg/g de clorofila total respectivamente, y un contenido de 0,12 mg/g y 0,18 mg/g de carotenoides respectivamente (Figura 21). En la localidad de San José el tejido foliar en la etapa botón floral, flor abierta, flor senescente y fruto morado presentó un contenido de 0,64 mg/g; 0,91 mg/g; 0,74 mg/g y 0,63 mg/g de clorofila total respectivamente, y un contenido de 0,16 mg/g; 0,21 mg/g; 0,18 mg/g y 0,18 mg/g de carotenoides respectivamente (Figura 22).

En relación a los datos anteriores, los análisis de varianza demostraron que la interacción entre localidad y etapa fenológica produce un efecto significativo sobre el contenido de clorofila a ( $gl=7$ ;  $f=4,14$ ;  $p=0,002$ ) (Anexo L), contenido de clorofila total ( $gl=7$ ;  $f=3,40$ ;  $p=0,01$ ) (Anexo N) y sobre el contenido de carotenoides ( $gl=7$ ;  $f=2,17$ ;

$p=0,002$ ) (Anexo O), aunque, no presentó un efecto significativo sobre el contenido de clorofila b ( $gl=7$ ;  $f=1,30$ ;  $p=0,28$ ) (Anexo M). Lo que quiere decir, que a lo largo de un ciclo productivo, desde botón floral hasta fruto morado, se van a encontrar diferentes contenidos foliares de Clorofila total, clorofila a y carotenoides, y estos contenidos de pigmentos a su vez se encuentran influenciados por la localidad, aunque no sucede lo mismo para los contenidos de clorofila b.

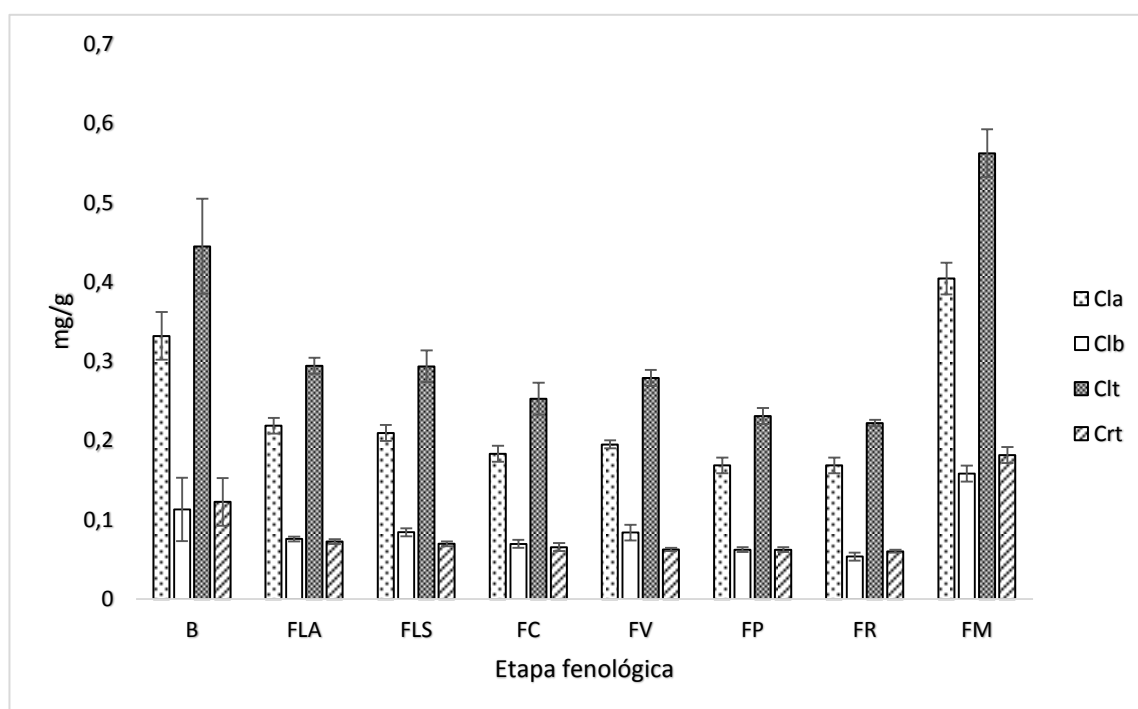


Figura 21. Contenidos de Clorofila a (Cla), Clorofila b (Clb), Clorofila total (Clt) y Carotenoides (Crt) en tejido foliar, con error estándar, en las distintas etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto mauro (FM) de *Rubus glaucus* en la localidad de Motilón.

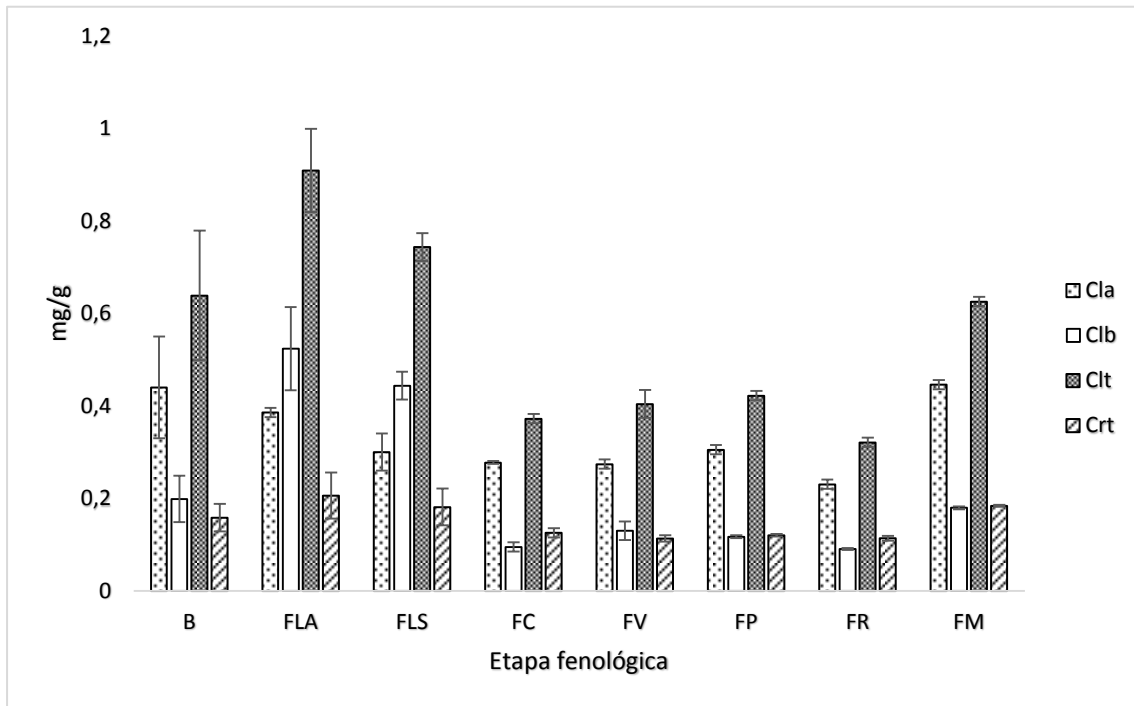


Figura 22. Contenidos de Clorofila a (Cla), Clorofila b (Clb), Clorofila total (Clt) y Carotenoides (Crt) en tejido foliar, con error estándar, en las distintas etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Flor senescente (FLS), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto mauro (FM) de *Rubus glaucus* en la localidad de San José

Las plantas superiores tienen dos tipos de clorofila, denominadas a y b, siendo la primera la mayoritaria y la que se degrada más fácilmente (Costa et al., 2003) como se observó en los resultados obtenidos para ambas localidades. Por otro lado, los carotenoides siempre acompañan a la clorofila en una relación de tres a cuatro partes de clorofila por una parte de carotenoide (Meléndez Martínez, Vicario, & Heredia, 2004). Adicionalmente, los resultados encontrados concuerdan con lo reportado por Román (2003), quien observó en cultivos de chile (*Cápsicum annuum*) que el contenido de clorofila total comienza con valores altos en los primeros días de desarrollo, presentándose una disminución en adelante y volviendo a aumentar en la madurez fisiológica.

La concentración de un nutriente en la planta como es el caso del Nitrógeno (necesario para la producción de clorofila) varía debido a causas fisiológicas y ambientales que pueden producir acumulación o dilución del mismo incidiendo en las concentraciones de los pigmentos vegetales. También el movimiento de los nutrientes dentro y entre partes de la planta (translocación) ejerce su influencia en la concentración del nutriente que tiene un tejido en un momento dado, lo que significa que a medida que el crecimiento de una planta progresa, ocurren marcados cambios en la concentración de nutrientes en los tejidos o partes de la planta (Barbazán, 1998), esto puede explicar las cantidades altas y bajas de los pigmentos vegetales como es el caso de la clorofila encontradas entre las distintas etapas fenológicas evaluadas.

Por último, las diferencias en cuanto a pigmentos vegetales encontradas entre localidades para las etapas fenológicas evaluadas pueden estar influenciadas por factores como la disponibilidad de nutrientes del suelo, la producción y el estado fitosanitario (Rivera et al., 2005). Adicionalmente las condiciones ambientales como la temperatura, la intensidad de la luz, la humedad del aire y del suelo afectan la concentración de nutrientes en la planta, algunos de ellos necesarios para la producción de pigmentos vegetales, de manera específica cuando la intensidad de la luz y la temperatura son muy altas, nutrientes como el Nitrógeno pueden encontrarse en menores cantidades en el tejido muestreado (Barbazán, 1998).

## **7.7 Nitrógeno en tejido foliar de *Rubus glaucus***

En la localidad de Motilón se encontró que el tejido foliar en la etapa de botón floral empieza con un alto valor de Nitrógeno igual a 3,29 g/100g disminuyendo hasta la etapa fenológica de flor abierta, punto a partir del cual el contenido de Nitrógeno aumenta hasta la etapa fenológica de fruto verde alcanzando un valor de 2,72 g/100g, presentándose un decrecimiento hasta la etapa fenológica de fruto morado obteniendo un valor de 2,51 g/100g. Con respecto al cultivar de la localidad de San José, el contenido de Nitrógeno inicia con un valor de 2,23 g/100g en la etapa fenológica de botón floral, alcanzando un valor de 2,39 g/100g en la etapa de fruto verde, punto a partir del cual los contenidos de N

tienden a reducirse finalizando con un valor de 1,94 g/100g, igual a como se presentó en Motilón (Figura 23).

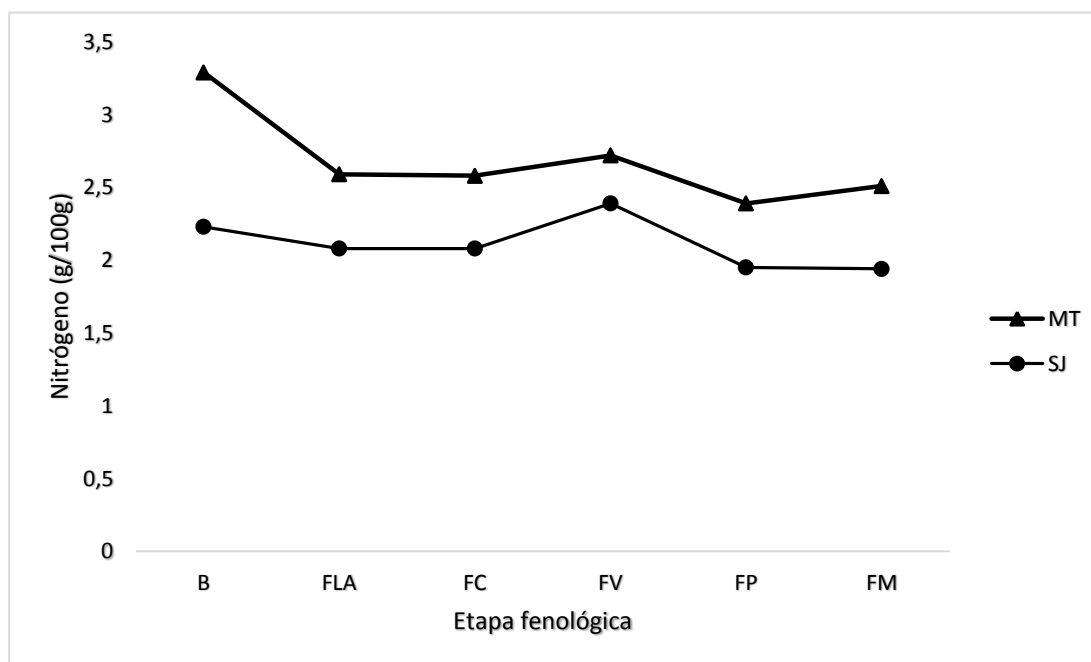


Figura 23. Valores de referencia para tejido foliar de contenido de Nitrógeno (g/100g) de los cultivares de *Rubus glaucus* de las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT), para las etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP) y Fruto morado (FM). Resultados del análisis practicado en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño

Los resultados observados coinciden con lo encontrado por Galindo-Reyes, et al., (2011) en frambuesa roja (*Rubus idaeus*) quienes observaron que el contenido de N en la hoja aumenta hasta cierto punto para luego decrecer; específicamente estos mismos autores encontraron una baja concentración foliar de N sobre todo en la fructificación, característica que coincidió con una menor concentración de N en la raíz, lo que sugiere que dicho nutrimento es utilizado por el fruto en formación. Al respecto según Galindo-Reyes et al., (2006) la disminución en la concentración de N en la mayoría de los órganos es debido a que se presenta una redistribución de este elemento hacia los frutos. Por otra

parte se ha tenido presente que la concentración de un nutriente en la planta aumenta con la edad fisiológica hasta cierto punto a partir del cual la concentración del mismo empieza a disminuir, además, cuando el suministro de nutrientes móviles como K, P y N es limitante, los tejidos jóvenes los obtienen a expensas de las hojas viejas, en las que su contenido disminuye (Barbazán, 1998). Pérez et al., (2012) también explican que en la medida que se incrementa el área foliar se incrementa el contenido de nitrógeno en la hoja y este se diluye conforme se presenta la madurez fisiológica a lo largo del proceso de crecimiento.

Teniendo en cuenta que Pérez et al., (2012) encontraron que cultivos manejados con deficiencias de nitrógeno muestran deficiencia de clorofila total, y que Román (2003), encontró que el contenido de clorofila total comienza con valores altos en los primeros días de edad, se puede apreciar la estrecha relación que existe entre el contenido de clorofila y el contenido de N foliar, lo que permite explicar el valor alto de N foliar en la etapa fenológica de botón floral en el cultivar de la localidad de Motilón, ya que en esta misma etapa fenológica se registró también valores altos de clorofila total (Figura 21).

Las diferencias que se observan entre localidades y etapas fenológicas estarían enmarcadas en el hecho de que la concentración de un nutriente en una planta no es un valor fijo, sino que varía debido a varias causas, como por ejemplo en cultivos perennes la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con los rebrotes estacionales y crecimiento y desarrollo de frutos, y también varían entre hojas de ramas vegetativas y fructíferas (Barbazán, 1998); por otro lado condiciones ambientales como humedad del aire y del suelo, así como la temperatura y la intensidad de la luz afectan la concentración de nutrientes en tejido foliar (Barbazán, 1998; Galindo-Reyes, et al., 2011); también el movimiento de los nutrientes dentro y entre partes de la planta (translocación) ejerce su influencia en la concentración de nutrientes que tiene un tejido en un momento dado (Barbazán, 1998). Finalmente, la intensidad y época de absorción de nutrientes son influenciadas por la fenología de la especie frutal, lo cual define una estacionalidad de necesidades porque cada evento tiene una exigencia específica que induce a la planta a tomar una mayor o menor cantidad de los nutrientes disponibles en el suelo, los cuales

quedan en reserva como por ejemplo en la raíz, para luego ser redistribuidos al sitio requerido para tener un desarrollo normal (Galindo-Reyes et al., 2011).

Adicionalmente, aunque los análisis edáficos mostraron que el suelo de la localidad de San José presentaron un mayor porcentaje de Nitrógeno (0,49%) que Motilón (0,36%) puede estar sucediendo que las plantas de *R. glaucus* de la localidad de San José estén destinando el Nitrógeno disponible a órganos como las raíces, en el sentido en que dichas estructuras presentan una fuerte demanda de Nitrógeno, y junto con el Potasio y el Fosforo favorecen el crecimiento de las mismas, aun cuando el factor: agua, está en cantidades limitadas (Gargaglionea, Peri, & Rubioc, 2013), razón por la cual el tejido foliar de la localidad de San José estaría presentando menores contenidos de Nitrógeno que Motilón.

#### **7.8 Carbohidratos totales en tejido foliar de *Rubus glaucus***

En ambas localidades los carbohidratos totales de tejido foliar presentaron la misma tendencia, en el sentido en que los valores más altos se registraron en las etapas fenológicas flor abierta, fruto pintón y fruto maduro. En la etapa fenológica flor abierta en Motilón y San José los carbohidratos totales presentaron un valor de 19,2 y 21,4 g/100g respectivamente; en la etapa de fruto pintón 21,3 y 23,6 g/100g respectivamente y para la etapa fruto morado 23 y 25,5 g/100g respectivamente (Figura 24).

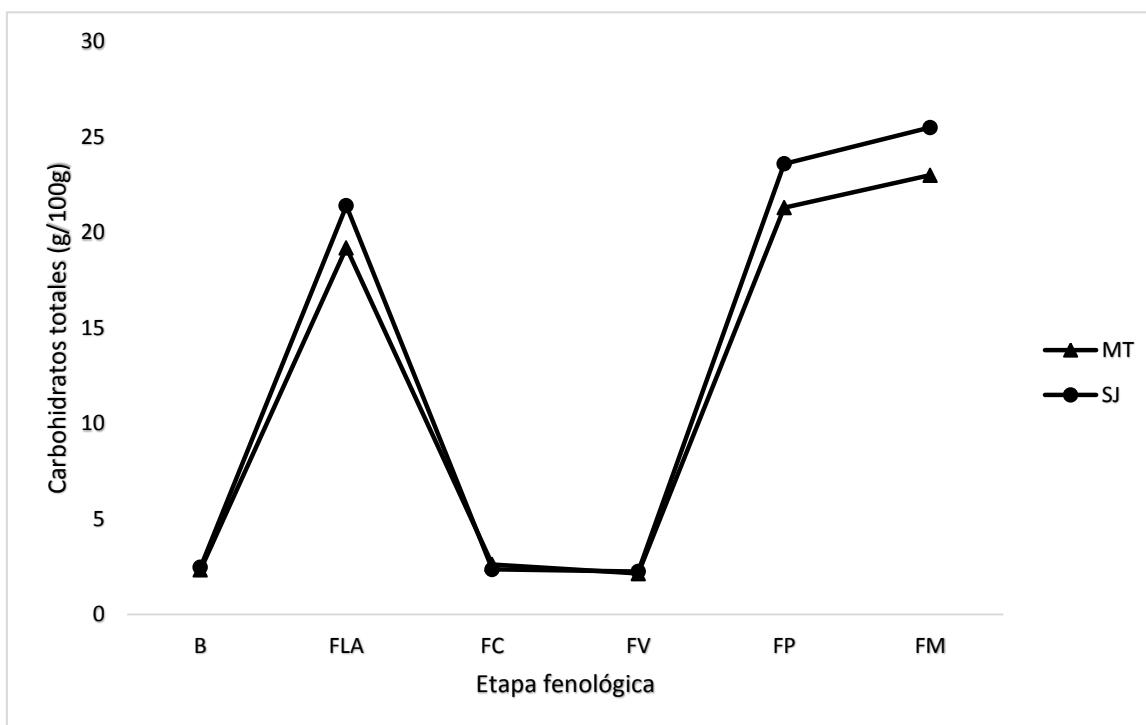


Figura 24. Valores de referencia para tejido foliar de contenido de Carbohidratos totales (g/100g) de los cultivares de *Rubus glaucus* de las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT), para las etapas fenológicas: Botón floral (B), Flor abierta (FLA), Fruto cuajado (FC), Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP) y Fruto morado (FM). Resultados del análisis practicado en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño

Teniendo en cuenta que las hojas son las principales fuentes que exportan gran cantidad de azúcares a otras partes de la planta el patrón del contenido foliar de carbohidratos totales producto de la fotosíntesis observado en este trabajo básicamente estaría influenciado por las relaciones fuente-demanda que se presentan durante las distintas etapas fenológicas (Martínez-Trinidad, Plascencia-Escalante, & Islas-Rodríguez, 2013), además, esta relación de fuente-demanda está influenciada por las condiciones ambientales y edáficas (Castillo, et al., 1996; Martínez-Trinidad et al., 2013) y condicionada actividades metabólicas (Yanniccari, Istilart, Giménez, Acciaresi, & Castro, 2012).

De acuerdo a lo anterior, la concentración de carbohidratos en el tejido foliar durante la etapa fenológica botón floral es bajo porque se presenta una fuerte demanda por parte de las

yemas florales para su metabolismo y desarrollo (Sanchez-Olate, Zapata Valenzuela, Rios, Pereira, & Escobar, 2003), en este sentido, los carbohidratos resultan necesarios para que se presente la apertura floral (Rodríguez-Landero, Franco-Mora, Morales-Rosales, Pérez-López, & Castañeda-Vildózola, 2012), por lo cual una vez alcanzada esta etapa se presenta un aumento de carbohidratos totales en el tejido foliar como se observa en los resultados obtenidos, y esta acumulación de carbohidratos en tejido foliar podría explicarse por la caída en la demanda de energía (Yanniccari et al., 2012). En muchos frutales se ha encontrado evidencia del proceso de autorregulación de la actividad fotosintética a través de los carbohidratos a sí en condiciones de baja demanda se ejecutan procesos de retroalimentación negativa de la fotosíntesis, de modo contrario cuando existe una alta demanda de carbohidratos por ejemplo durante el incremento de número de frutos en desarrollo, existe un estímulo de la actividad fotosintética como mecanismo natural para satisfacer esa demanda (Urban, Léchaudel, & Lu, 2004).

Después de la etapa fenológica de flor abierta, se presenta una nueva disminución de carbohidratos en el tejido foliar para la etapa de fruto cuajado, lo que pudo ser consecuencia del inicio del desarrollo del fruto, una vez presentada la polinización. Según Gamboa-Porras & Marín-Méndez, (2012) el fruto es un fuerte demandante de carbohidratos y domina las otras partes de las plantas durante su desarrollo. Finalmente, el nuevo aumento de carbohidratos en el tejido foliar durante las etapas de fruto pintón y fruto morado podría representar la caída de la tasa de crecimiento del fruto por lo cual se suspende la demanda de carbohidratos por parte del mismo (Yanniccari et al., 2012).

## **7.9 Producción de frutos de *Rubus glaucus***

En las localidades de Motilón y San José se observó que el número de frutos por planta disminuye a medida que se presentan las distintas etapas fenológicas del fruto, aunque a la vez se presenta un aumento de peso fresco. En este sentido, en la localidad de Motilón una planta en la etapa fenológica de fruto verde consigue producir en promedio 87,6 frutos, mientras que en la etapa fenológica de fruto morado se pueden encontrar 37,2 frutos (Figura 25), que traducidos en peso fresco serían igual a 151,09 g (Figura 26). Por el

contrario en la localidad de San José de los 127,4 frutos verdes producidos en promedio por una planta se pueden observar un promedio de 49,1 en la etapa de fruto morado (Figura 25), que traducidos en peso fresco serían igual a 230,08 g (Figura 26). En este sentido, teniendo en cuenta los gramos en peso fresco de frutos morados que se producen en promedio por una planta al final de un ciclo productivo en ambas localidades, y las densidades de siembra, San José con 2800 plantas/ha y Motilón con 1200 plantas/ha, se puede inferir que la localidad de San José produciría 644,2 kg/ha (0,6 t/ha), mientras que Motilón 181,31 kg/ha (0,2 t/ha) en un ciclo de crecimiento.

Finalmente, un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica no produce un efecto significativo sobre el número de frutos por planta ( $gl=3$ ;  $f=0,62$ ;  $p=0,6089$ ) (Anexo J), y sobre el peso (g) de frutos por planta ( $gl=3$ ;  $f=1,13$ ;  $p=0,3527$ ) (Anexo K). Lo que quiere decir, que una planta de *Rubus glaucus* tanto en la localidad de Motilón como en la localidad de San José llegaría a producir el mismo número y peso de frutos verdes, pintones, rojos y morados.

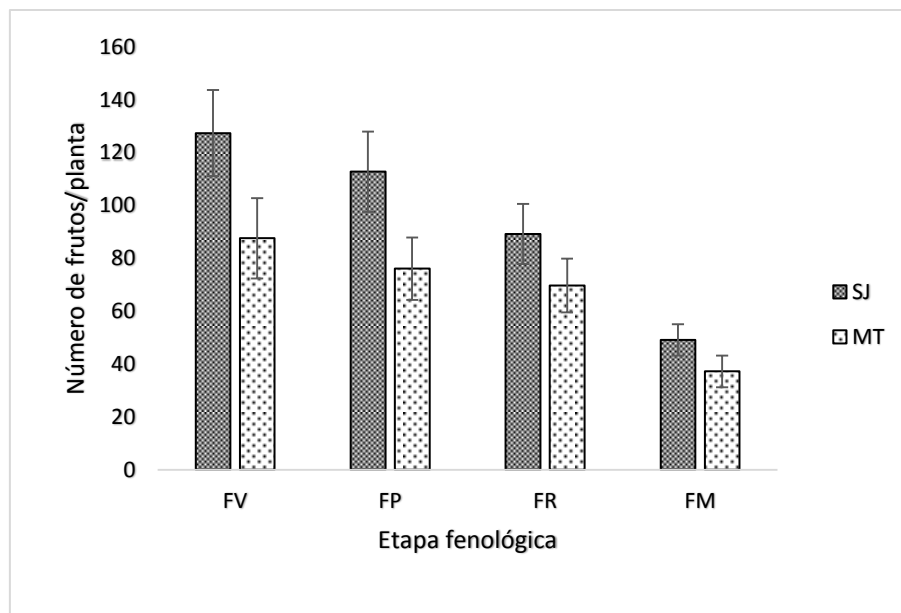


Figura 26. Producción expresada en Número de frutos/planta, con error estándar, en las etapas fenológicas: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM) de *Rubus glaucus* en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

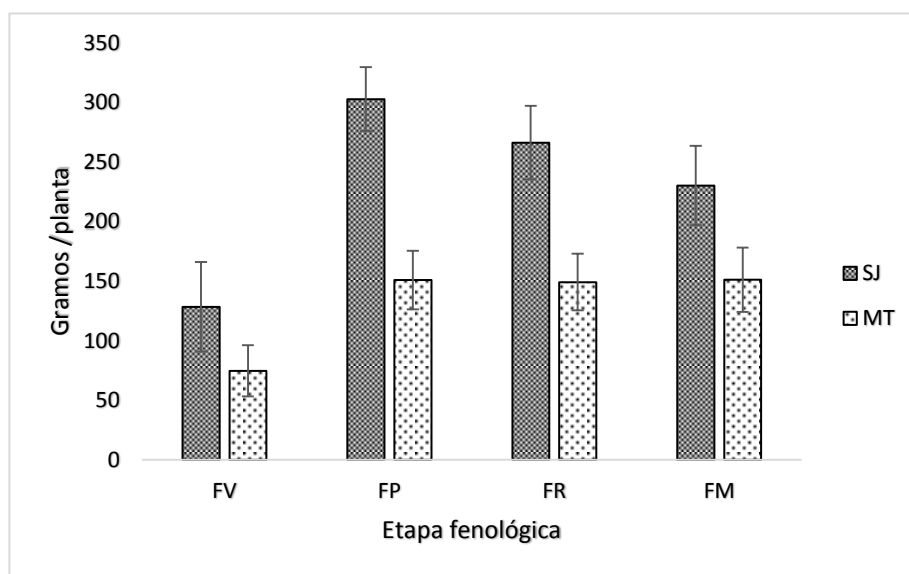


Figura 25. Producción expresada en Gramos/planta con error estándar, en las etapas fenológicas: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM) de *Rubus glaucus* en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Cabezas et al. (2002) Encontraron que una planta puede producir 95,64 frutos cuajados; Cárdenas (2013) a una altura de 2348 msnm encontró que una inflorescencia de *R. glaucus* puede producir 24,40 frutos cuajados, otros autores como Aguinaga & Guanotuña, (2013) encontraron que de 66 frutos cuajados 55 de ellos se observan en el estado de desarrollo fruto maduro, tendencia que también se observó en los resultados encontrados. Una explicación para el número de frutos observados en las etapas fenológicas fruto verde, pintón, rojo y morado, puede estar en el hecho de que los frutos no maduran al mismo tiempo (Aguinaga & Guanotuña, 2013; Ciro, et al., 1998;), al respecto Alzate et al., (2010) y Cárdenas (2013) señalan que la maduración es dispareja porque la floración no es homogénea; Catania y Avagnina (2007) utilizan el término asincrónico para referirse al fenómeno en el cual la maduración se da a tiempos diferentes.

Por otro lado, en cuanto al aumento en peso fresco de los frutos de *R. glaucus* a medida que se presenta cada etapa fenológica, García & García (2001) y Alzate et al., (2010) afirman que el fruto de mora presenta cambios fisicoquímicos a medida que estos completan su proceso de maduración, los cambios químicos en especial traen como consecuencia una disminución en el potencial osmótico del fruto produciendo un incremento en la capacidad de retención de agua lo que se ve reflejado en el peso fresco del fruto, sin dejar a un lado los procesos de división celular que también se presentan durante el desarrollo de los mismos. Además, el anterior proceso puede verse favorecido para unos frutos dentro de la misma rama productiva si tenemos en cuenta la competencia que se da entre los mismos (Ardila et al., 2011; Barbazán, 1998).

En cuanto a los resultados de producción por planta al final de un ciclo productivo, Grijalba, et al. (2010) encontraron que una planta de *R. glaucus* puede producir en promedio 348,4 g; Bautista (citado Alzate et al., 2010), reporta producciones entre 5923 y 6195 g/planta/ciclo; Mejía (2011) 3773,2 g/planta/ciclo; Aguinaga & Guanotuña, (2013) 2320 y 4530 g/planta/ciclo; Cárdenas (2013) encontró un rendimiento por planta de 5260 g, con un peso promedio del fruto de 6.8 g. Franco & Giraldo (2002) señalan que la productividad óptima de la mora de Castilla en Colombia, debe ser igual o superior a 5400 g/planta/ciclo en cultivos bien manejados. Los resultados reportados por los anteriores

autores resultan ser superiores a los resultados encontrados en las localidades de San José (230,08g/planta/ciclo) y Motilón (151,09g/planta/ciclo), lo que se puede explicarse a partir de la altura sobre el nivel del mar en la cual se desarrollan las plantas. Según la DANE (2013) la especie *R. glaucus*, aunque se adapta a diferentes alturas sobre el nivel del mar en un rango que va de 1200 a 3500 metros; el rango de altura apropiado es de 1800 a 2400 metros, por encima de los 2400 metros de altura la producción es menor, lo cual tiene sentido si se tiene en cuenta que la localidad de San José se encuentra a 2818 msnm y Motilón a 2850 msnm, lo que finalmente también afectaría negativamente la producción a nivel de hectárea.

No se puede afirmar que los rendimientos por hectárea de San José (644,2kg/ha) y Motilón (181,31 kg/ha) son bajos, puesto que según Gallego, et al. (1996) en los municipios de Quinchía, Guática (Risaralda) y Riosucio (Caldas), entre los 2000 y 2050 msnm con una temperatura entre los 17 y 18 °C encontraron producciones con valores de 6,42 kg por hectárea. Por el contrario los valores encontrados de rendimiento por hectárea resultan similares a los reportados por Cabezas et al. (2002) quienes en Boyacá a una altura de 2680 msnm y una humedad relativa de 80% encontraron rendimientos entre 189,22 y 3261,3 kg/ha, aunque autores como Cárdenas (2013) a una alturas menores de 2348 msnm y a una temperatura de 17 °C han encontrado promedios superiores e iguales a 8802.44 kg/ha.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN, OBJETIVO ESPECÍFICO 2**

### **7.10 Crecimiento de frutos de *Rubus glaucus***

En ambas localidades las curvas de crecimiento del fruto *Rubus glaucus* con base en las variables: Diámetro Ecuatorial (mm), Diámetro Polar (mm), Peso Fresco (gr) y Peso Seco (gr), se ajustaron al modelo logístico de 3 parámetros, expresado por la ecuación  $Y = a/(1+Exp(b-c*X))$  donde:

Y: Parámetro evaluado (variable dependiente).

X: Edad, días después de la antesis (variable independiente).

a, b, c: Constantes predichas por el modelo.

- a: Crecimiento máximo que puede alcanzar el fruto.
- b: Está relacionado con el tamaño al inicio de las mediciones en un tiempo ( $X_0$ ).
- c: Tasa de variación del crecimiento del fruto a lo largo del tiempo.

A nivel general se observó que los frutos de *Rubus glaucus* presentan un crecimiento lento en los primeros días, seguido de una aceleración, para finalmente presentar una estabilización del crecimiento en los últimos días de desarrollo, describiendo de esta manera un curva sigmoidea simple.

#### **7.10.1 Curvas de crecimiento basadas en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de *Rubus glaucus***

El diámetro ecuatorial y polar de los fruto de *Rubus glaucus* de la localidad de San José, presentaron un crecimiento acelerado desde el día 14 (después de floración), hasta el día 42, punto a partir del cual se presenta una tendencia a estabilizarse (Figura 27). Las curvas de diámetro ecuatorial y polar para los frutos procedentes de la localidad de Motilón muestran un crecimiento acelerado desde el día 17 hasta el último día de seguimiento, en este caso el modelo de crecimiento no muestra una clara fase de estabilización, aunque en el caso del diámetro ecuatorial se presenta una ligera disminución en la pendiente de la curva desde el día 52 (Figura 28).

Al final de la fase de muestreo los frutos de *Rubus glaucus* en la localidad de San José alcanzaron un diámetro ecuatorial promedio igual a 16,71 mm y un diámetro polar igual a 20,41 mm, mientras que en Motilón los frutos alcanzaron un diámetro ecuatorial de 17,76 mm y un diámetro polar de 20,46 mm.

De acuerdo a los datos propuestos por el modelo de crecimiento, los frutos de la localidad de Motilón llegarían a presentar un mejor tamaño en cuanto a diámetro polar y

ecuatorial que los frutos de San José, aunque los frutos de San José presentaron una mayor tasa de crecimiento potencial (Figura 27 y 28).

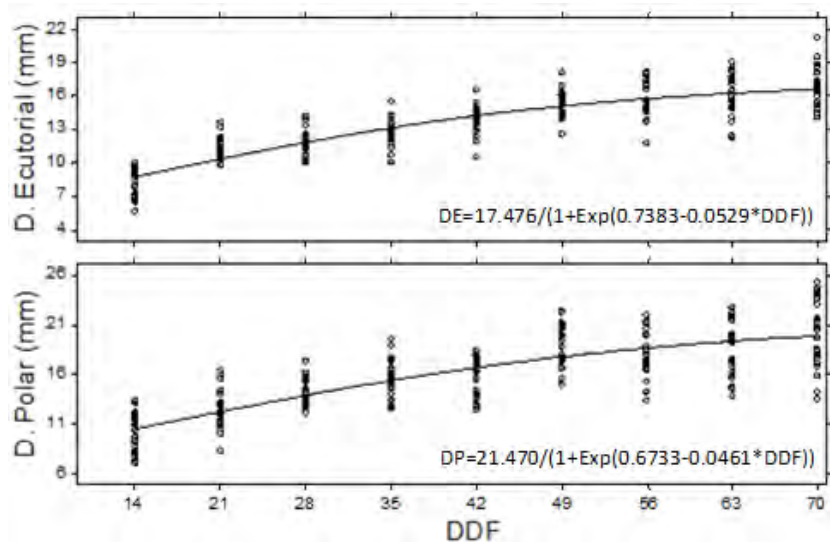


Figura 27. Curva de crecimiento basado en el diámetro ecuatorial ( $R^2=0,96$ ) y polar ( $R^2=0,89$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) en la localidad de San José. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación

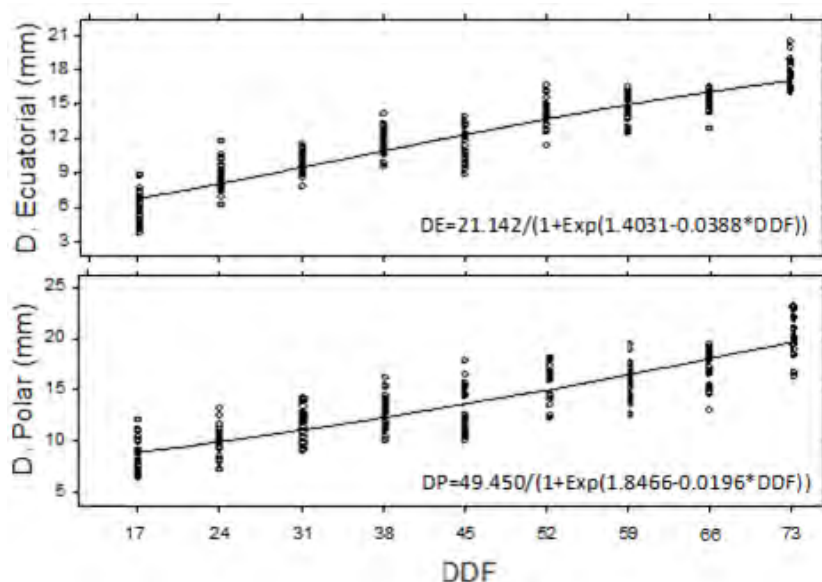


Figura 28. Curva de crecimiento basado en el diámetro ecuatorial ( $R^2=0,86$ ) y polar ( $R^2=0,95$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) en la localidad de Motilón. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación

#### 7.10.2 Curvas de crecimiento del fruto de *Rubus glaucus* basadas en el peso fresco y seco

El peso fresco y seco de los frutos de ambas localidades presentó una similar tendencia a la encontrada para los diámetros ecuatorial y polar. En este sentido, las curvas de crecimiento para el peso fresco y seco de los frutos de *Rubus glaucus* procedentes de la vereda San José, muestran que los frutos presentaron un crecimiento lento desde el día 14 hasta el día 28, incrementando hasta el día 49, punto a partir del cual se observa que los frutos tienden a estabilizarse (Figura 29). Para el caso de la localidad de Motilón, las curvas de peso fresco y seco, muestran un crecimiento lento desde el día 17 hasta el día 31, desde este punto la curva muestra un aumento de pendiente, lo que indica que los frutos presentaron un crecimiento acelerado, aunque para estos casos la fase de estabilización no se logra apreciar (Figura 30). Al final de la fase de muestreo los frutos de *Rubus glaucus* en San José alcanzaron un peso fresco promedio igual a 3,72 g y un peso seco igual a 0,50 g,

mientras que en la localidad de Motilón los frutos alcanzaron un peso fresco promedio igual a 3,97g y un peso seco de 0,51g.

De acuerdo a los parámetros arrojados por el modelo de crecimiento, los frutos de la localidad de Motilón llegarían a presentar un mayor peso fresco y peso seco, aunque los frutos de San José presentarían un tasa de crecimiento mayor a la que presentarían los frutos de la localidad de Motilón (Figura 29 y 30).

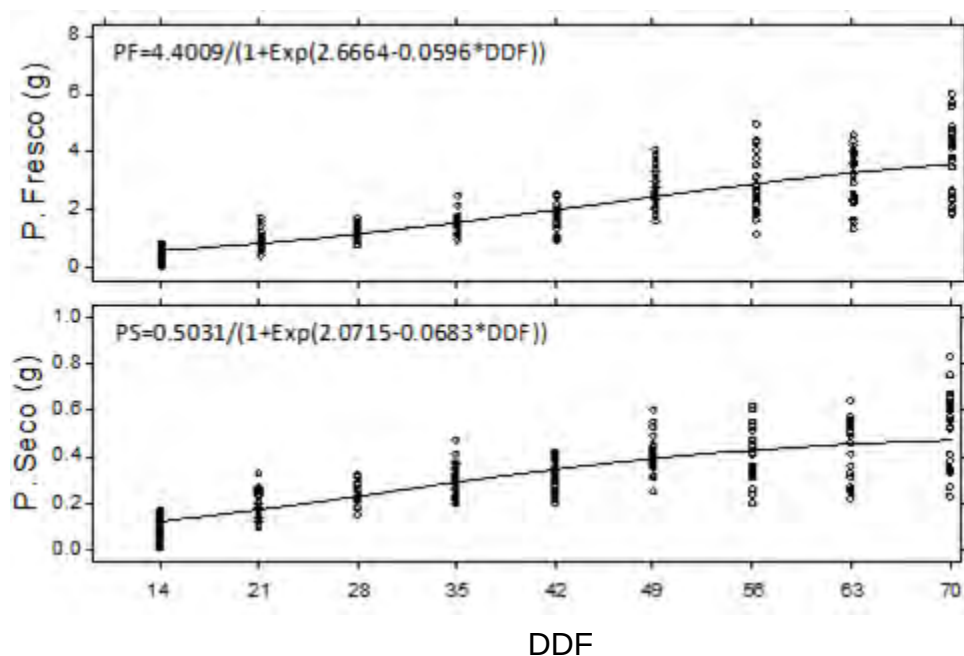


Figura 29. Curva de crecimiento basado en el peso fresco ( $R^2=0,99$ ) y peso seco ( $R^2=0,99$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) de la localidad de San José. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación

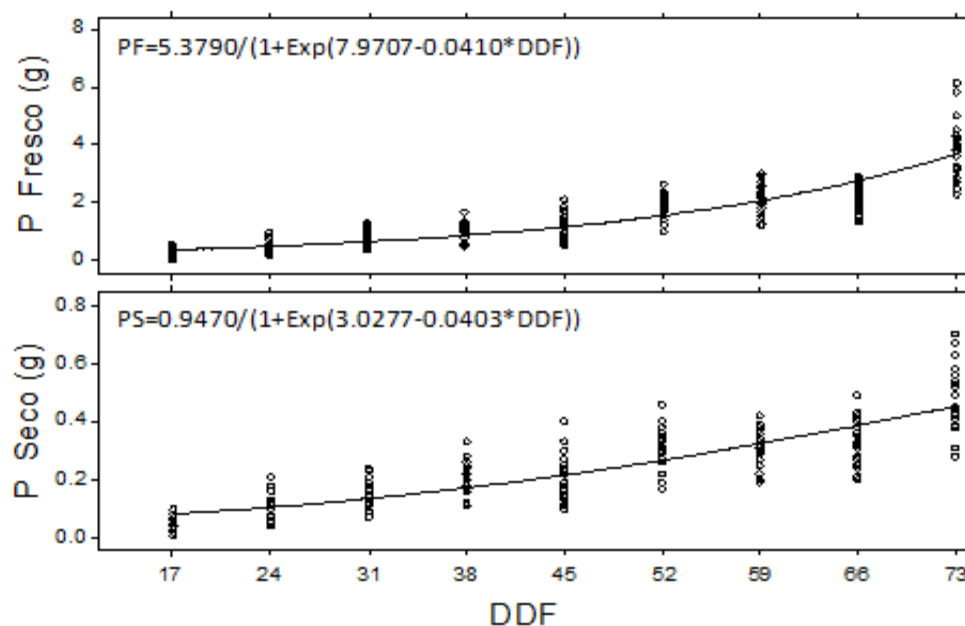


Figura 30. Curva de crecimiento basado en el peso fresco ( $R^2=0.80$ ) y peso seco ( $R^2=0.95$ ) respecto a los días después de floración (DDF) del fruto de *Rubus glaucus* (mora de Castilla) de la localidad de Motilón. En las gráficas la línea indica el modelo de regresión ajustado con la respectiva ecuación

Siendo la curva de crecimiento sigmoidea simple caracterizada por una fase de crecimiento lento, una fase de crecimiento acelerado y una fase en la que el crecimiento se estabiliza, estas etapas no se hacen demasiado evidentes en las curvas de crecimiento de los frutos, dado que las mediciones se realizaron semanalmente, y para detectar los cambios en la pendiente de la curva, especialmente en los primeros días de desarrollo del fruto, se hace necesario hacer las mediciones con mayor frecuencia (Posada & Cardozo, 2009). Aunque es evidente que los diferentes modelos de crecimiento expuestos nos indican que los frutos de *R. glaucus* de las localidades Motilón y San José tienden a presentar un crecimiento sigmoideo simple.

La forma de crecimiento sigmoidea simple con base en medidas de diámetro polar y ecuatorial se ha encontrado en otros frutales como por ejemplo: tomate: feijoa: *Acca sellowiana* (Rodríguez et al., 2006); *Lycopersicon esculentum* (Posada & Cardozo, 2009); tomate: *Solanum lycopersicum* (Ardila et al., 2011); guayaba: *Psidium guajava* (Juarado,

2012); champa: *Campomanesia lineatifolia* (Balaguera-López & Arévalo, 2012) y mandarina: *Citrus reticulata* (Pereira, 2013).

Se ha determinado que durante los primeros estados del crecimiento de los frutos el contenido de clorofila total aumenta, con lo cual el fruto presenta una coloración verde y ocurre un crecimiento acelerado (Ardila et al., 2011), proceso que puede verse favorecido en el hecho de que el fruto, considerado el principal órgano sumidero toma de la planta una serie de sustancias que transforma y convierte en sus propios constituyentes, las cuales las utiliza para su crecimiento, caracterizado por ser acelerado durante los primeros días de desarrollo (Pereira, 2013; Posada & Cardozo, 2009). Este crecimiento acelerado también puede deberse a la síntesis de hormonas de crecimiento, como por ejemplo auxinas, que estimularían una rápida división celular (Flores, 2011; Hernández-Gil & Bautista, 1977; Jordán & Casaretto, 2006; Pérez-Barraza, Vázquez-Valdivia, Osuna-García, & Urías-López, 2009;). En este sentido, en frutos de uva se ha encontrado que hormonas como auxinas y giberelinas permiten el crecimiento del fruto a partir del cuaje (Catania & Avagnina, 2007). Adicionalmente Jordán & Casaretto (2006) afirman que una mayor concentración de auxinas ocurre en regiones que están en crecimiento activo, como es el caso de frutos en desarrollo, al respecto Saavedra (2005) afirma que las auxinas inciden positivamente en el crecimiento del fruto, puesto que según su concentración permiten que el fruto alcance diámetros comerciales aceptables.

En la fase de estabilización del crecimiento, que se aprecia de una mejor manera en los modelos de crecimiento para los frutos de la localidad de San José, el fruto deja de presentar divisiones celulares y comienza el proceso de maduración, el cual está acompañado de la síntesis de antocianinas y el consecuente cambio de color (Hernández-Gil & Bautista, 1977), la producción de etileno y otras sustancias volátiles, la tasa de respiración, la permeabilidad de los tejidos, y transformaciones químicas que afectan a los azúcares, ácidos orgánicos, proteínas, compuestos fenólicos, pigmentos, pectinas, y otros; en esta fase, también se obtienen los sabores y olores específicos, y también es durante este periodo que se da el ablandamiento de la fruta (Ardila et al., 2011). Durante este proceso también se puede presentar un ligero aumento en el tamaño, debido a que sustancias como

los azúcares reductores ocasionan una disminución en el potencial osmótico, lo que trae como consecuencia un incremento en la capacidad de retención de agua, ocasionando una elongación celular (Flores, 2011; Hernández-Gil & Bautista, 1977; Laguado et al., 2002).

De acuerdo a los parámetros arrojados por el modelo de crecimiento empleado, los frutos de la localidad de Motilón alcanzarían valores de tamaño y peso superiores a los frutos de la localidad de San José, lo que coincide con los valores reales obtenidos. Estas diferencias podrían llegar a justificarse con base en las condiciones edafoclimáticas de cada localidad (Alzate et al., 2010), especialmente teniendo en cuenta que Motilón presentó contenidos de Calcio dentro de los óptimos, a diferencia de San José; este nutriente resulta de mayor importancia puesto que permite la asimilación de otros nutrientes (Nitrógeno, Fosforo, Magnesio y Zinc) necesarios para el desarrollo de la planta (Castaño et al., 2008).

Por otra parte según Catania & Avagnina (2007) si las condiciones ambientales son favorables se vería un efecto positivo en los frutos en cuanto a tamaño y de la misma forma en el peso de los mismos, además condiciones de vigor de la planta y radiación pueden determinar parte del proceso. Por su parte, Fischer (2000) menciona que, cuando se presenta una adecuada humedad del suelo y un incremento en la humedad relativa, influyen positivamente en el desarrollo y calidad de los frutos cosechados.

En relación a las dimensiones ecuatoriales y polares de los frutos de *R. glaucus*, según Romoleroux & Nllgaard, (1996) los frutos maduros de *R. glaucus* pueden presentar dimensiones comprendidas entre 1,5-2,5 cm. Mejía (2011) encontró promedios entre 1,6 y 2,26 cm para diámetro ecuatorial y promedios entre 1,6 y 2,52 cm para el diámetro polar y Cárdenas (2013) en Ecuador, reportó promedios de 1,7 cm para el diámetro ecuatorial y de 2,13 cm para el diámetro polar. Estudios que concuerdan con los valores obtenidos en el presente trabajo.

Por otro lado, en relación al peso de los frutos, estudios realizados por varios autores como Bautista, (1997), Carmona, et al. (2006), Grijalba et al. (2010) y Aguinaga & Guanotuña (2013), encontraron que los frutos de *R. glaucus* pueden llegar a presentar

valores sobre los 5,0 g, que resulta superior a los valores encontrados en este estudio, incluso Corpoica reporto parámetros de 6 a 8 g (Gracia & García, 2001). Aunque Mejía (2011) encontró promedios entre 2,69 y 7,77 g para el peso fresco del fruto, lo que nos permite ubicar los resultados del presente estudio en dicho rango. De manera general las diferencias entre unos y otros estudios, incluyendo el presente trabajo, se pueden explicar a partir de la ubicación geográfica de las zonas de estudio y en consecuencia a las condiciones ambientales específicas de cada lugar, como por ejemplo temperatura y características fisicoquímicas del suelo. En relación a esto según Franco et al., (1996) las bajas temperaturas, como las que se presentan en zonas de alta montaña, hacen que los frutos sean más pequeños, es decir, a mayores altitudes el tamaño del fruto será menor y su vez el peso del mismo, en comparación con menores altitudes, al respecto, Eraso (1988) reporta que el fruto tiende a ser de tamaño pequeño puesto que no existen las suficientes unidades de calor que permitan un mayor desarrollo.

#### **7.11 Contenido de agua en el fruto de *Rubus glaucus* durante las etapas de fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado**

En ambas localidades el contenido de humedad de los frutos de *Rubus glaucus* aumentó a través del tiempo de evaluación (Figura 31). En la localidad de Motilón los frutos de *R. glaucus* presentaron un contenido de humedad superior a los frutos procedentes de la localidad de San José en todas las etapas fenológicas evaluadas (Figura 31). Principalmente los frutos rojos y morados en San José obtuvieron un porcentaje de humedad igual a 84,91 y 86,4 % respectivamente, y en Motilón 85,21 y 86,99 % respectivamente. Un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica no tienen un efecto significativo sobre el contenido de humedad de los frutos ( $gl=3$ ;  $f=1,67$ ;  $p=0,1763$ ), aunque, discriminando el factor localidad, si se encuentran diferencias entre etapas fenológicas ( $p<0,05$ ) (Anexo P).

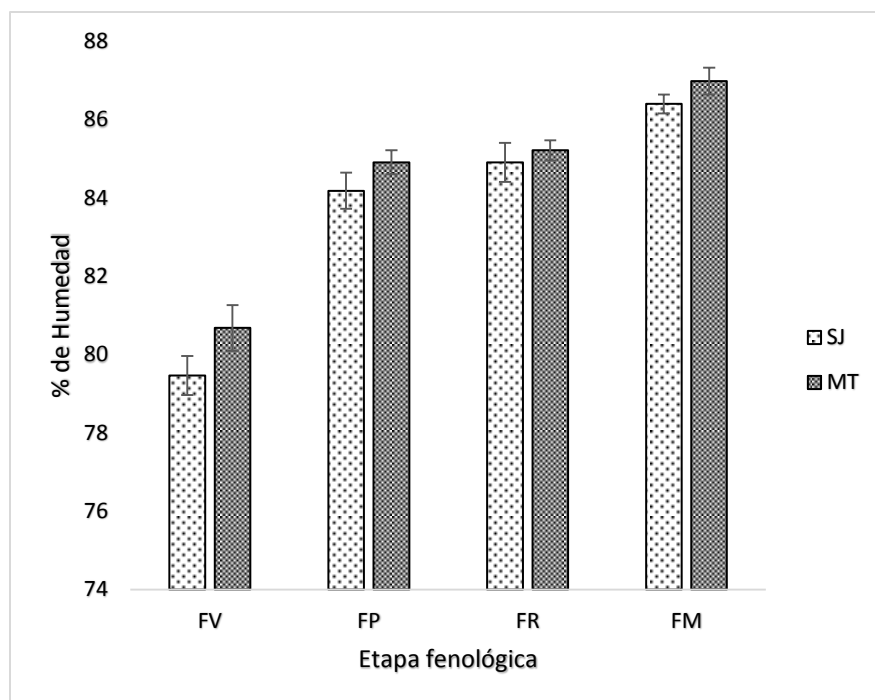


Figura 31. Variación del contenido de agua (g) con error estándar en las diferentes etapas fenológicas de frutos de *Rubus glaucus*: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM), en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Los resultados encontrados coinciden con Rodríguez & Yandar (2010) quienes observaron que el contenido humedad aumenta a medida que los frutos se desarrollan; el fruto de mora presenta cambios fisicoquímicos a medida que estos completan su proceso de maduración, en específico, Hernández-Gil & Bautista (1997) afirman que los cambios bioquímicos traen como consecuencia una disminución en el potencial osmótico produciendo un incremento en la capacidad de retención de agua, lo que explica el hecho de que los frutos presentan un mayor porcentaje de agua a medida que pasan por las diferentes etapas de desarrollo.

Alzate et al., (2010) encontraron mayores porcentajes de agua en el estado de fruto maduro con valores entre 20,8 y 18,7%, valores que resultan inferiores a los encontrados en este estudio, diferencias que se pueden explicar a partir de las características ambientales donde se realizó el estudio, especialmente de temperatura y humedad. De acuerdo a los

valores de porcentaje de humedad encontrados, principalmente se puede afirmar que los frutos rojos y morados (objeto de consumo) son ricos en agua, ya que la mayoría de frutas frescas ricas en agua presentan un contenido de agua que generalmente está por encima del 85%, como se observó en los frutos mencionados en ambas localidades (Alzate et al., 2010), aunque, estos altos contenidos de humedad pueden significar que los frutos están más susceptibles a recibir daños físicos, lo que limitaría el llegar en buen estado hasta el consumidor, en el mismo sentido esta característica encontrada pudo incidir negativamente en los valores de rendimiento por hectárea en ambas localidades.

Finalmente, los altos porcentajes de humedad encontrados en los frutos rojos y morados en ambas localidades pueden deberse a los eventos de precipitación y a la humedad del suelo, ya que según Fischer et al., (2009) el suministro adecuado de agua es fundamental para el buen desarrollo de los frutales, puesto que el estado de mayor demanda de agua por el fruto es durante su llenado.

#### **7.12 Contenido de ácidos orgánicos en frutos de *Rubus glaucus***

En su orden los ácidos mayoritarios encontrados en los distintos estados de desarrollo del fruto de mora en ambas localidades fueron: ácido cítrico, ácido málico, ácido ascórbico y ácido oxálico.

El contenido de ácido cítrico en frutos de la localidad de San José tiende a presentarse en mayor cantidad en el fruto morado que en el fruto rojo, etapas que son objeto de comercialización, aunque la etapa fenológica de fruto pintón fue la que presentó el mayor valor de este ácido; de manera contraria en Motilón el contenido de ácido cítrico incrementa hasta la etapa fenológica de fruto rojo donde se registró el mayor contenido, y disminuye en fruto morado donde se registró el menor valor (Figura 32). En ambas localidades el contenido de ácido málico y oxálico tiende a presentarse en menores cantidades en las últimas etapas fenológicas (fruto rojo y morado) (Figura 32). Finalmente, en la localidad de San José, se presentó un mayor contenido de ácido ascórbico que en Motilón, la fase con mayor contenido de ácido ascórbico fue el fruto morado en San José,

mientras que en Motilón el valor más alto se registró en fruto rojo (Figura 32). EL análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica tiene un efecto significativo sobre el contenido de ácido oxálico ( $gl=3$ ;  $f=8,58$ ;  $p=0,0015$ ) (Anexo Q), ácido málico ( $gl=3$ ;  $f=9,12$ ;  $p=0,001$ ) (Anexo R), ácido cítrico ( $gl=3$ ;  $f=10,18$ ;  $p=0,0007$ ) (Anexo S) y ácido ascórbico ( $gl=3$ ;  $f=12,85$ ;  $p=0,0002$ ) (Anexo T). Lo que significa, que los contenidos de ácidos orgánicos es diferente a medida que el fruto pasa por los estados de fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado, y a su vez los contenidos de ácidos orgánicos de cada etapa fenológica del fruto están influenciados por la localidad.

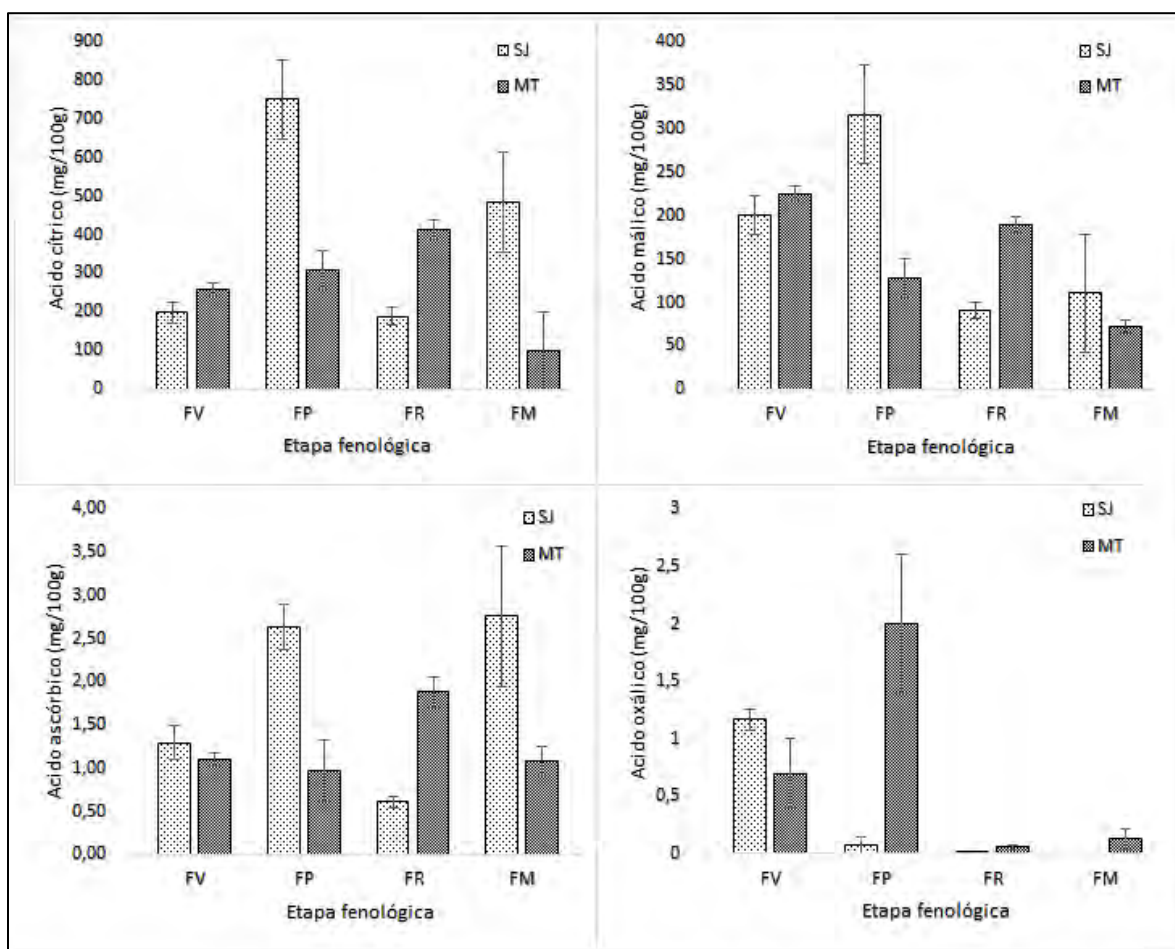


Figura 32. Contenido de ácido cítrico, málico, ascórbico y oxálico (mg/100g) con error estándar, en los diferentes estados fenológicos de *Rubus glaucus*: fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR), fruto morado (FM), en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Según Jaramillo et al., (2000) el ácido cítrico es el principal ácido en los cítricos, frambuesas, fresas, arándanos, piñas y peras, mientras que el ácido málico domina en las manzanas, plátanos y el ruibarbo. El hecho de que los contenidos de los ácidos orgánicos especialmente málico y oxálico hayan disminuido en el estado de madurez más avanzado indica una alta tasa metabólica por parte de los frutos, debido a que estos ácidos orgánicos se usan durante la respiración del fruto (Catania & Avagnina, 2007; Sora et al., 2006), y muchos de ellos son componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos

tricarboxílicos (Kays, 2004; Morales et al., 2001). Al respecto, Jaramillo et al., (2000) reportan que en las primeras etapas de desarrollo del fruto hay una alta concentración de ácidos y luego se presenta una etapa de degradación de los mismos hasta el estado de mayor madurez.

Adicionalmente, la cantidad de ácidos baja durante los periodos de sequedad y vuelve a aumentar luego de las lluvias, lo cual puede explicar la intercalación entre concentraciones altas y bajas en los frutos analizados, como es el caso del ácido ascórbico y ácido cítrico (Catania & Avagnina, 2007). Al respecto Jaramillo et al., (2000) encontraron que durante ciertos momentos del proceso de maduración se presenta una síntesis activa de ácidos, que probablemente puede suceder a partir de azúcares como por ejemplo glucosa.

Como resultado importante, los frutos rojos de la localidad de Motilón presentaron contenidos importantes de ácido cítrico y ascórbico, mientras que en San José los frutos morados fueron los que presentaron dichas características importantes, aspectos que le dan un valor agregado a los frutos de mora de castilla de las localidades de Motilón y San José. De esta manera, los valores encontrados de ácido cítrico y ascórbico en los frutos rojos y morados de ambas localidades resultan importantes para ser tenidos en cuenta en el consumo humano, puesto que estos ácidos tiene la capacidad de neutralizar los efectos dañinos de los radicales libres, compuestos inestables que pueden acumularse en el cuerpo y desencadenar el crecimiento de tumores cancerosos (García-Bacallao, García- Gómez, Rojo-Domínguez, & Sánchez-García, 2001).

Finalmente, las diferencias encontradas entre localidades en cuanto a la concentración de los diferentes ácidos en las distintas etapas fenológicas evaluadas podrían estar sujetas a las características edáficas y climáticas, principalmente de temperatura media, mínima y máxima que resultaron presentar diferencias significativas entre ambas localidades. Según Ciro et al., (1998) y Grijalba et al., (2010) condiciones ambientales como lo es la temperatura media, juegan un papel importante en las características fisicoquímicas de los frutos, ya que influye en las distintas reacciones bioquímicas (Fernández & Johnston, 2006).

### 7.13 Sólidos Solubles totales (°Brix)

En ambas localidades objeto de estudio, se observó que los Sólidos Solubles Totales presentaron un incremento a medida que el fruto completaba su proceso de madurez, este incremento fue más notorio a partir del momento en que el fruto llega a la etapa fenológica de fruto rojo (Figura 33). En la localidad de San José los frutos en la etapa de fruto verde presentaron un valor de 5,41 °Brix; en fruto pintón 5,49 °Brix; en fruto rojo 6,59 °Brix; y en fruto morado 8,24 °Brix. Mientras que en Motilón los frutos en estado verde presentaron un valor de 5,25 °Brix; en fruto pintón 5,42 °Brix; en fruto rojo 6,82 °Brix y en fruto morado 8,58 °Brix (Figura 33). Finalmente, un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica no tiene un efecto significativo sobre el contenido de los sólidos solubles totales ( $gl=3$ ;  $f=5,30$ ;  $p=0,10$ ), aunque, discriminando el factor localidad si se presentan diferencias entre etapas fenológicas ( $p<0,05$ ) (Anexo W).

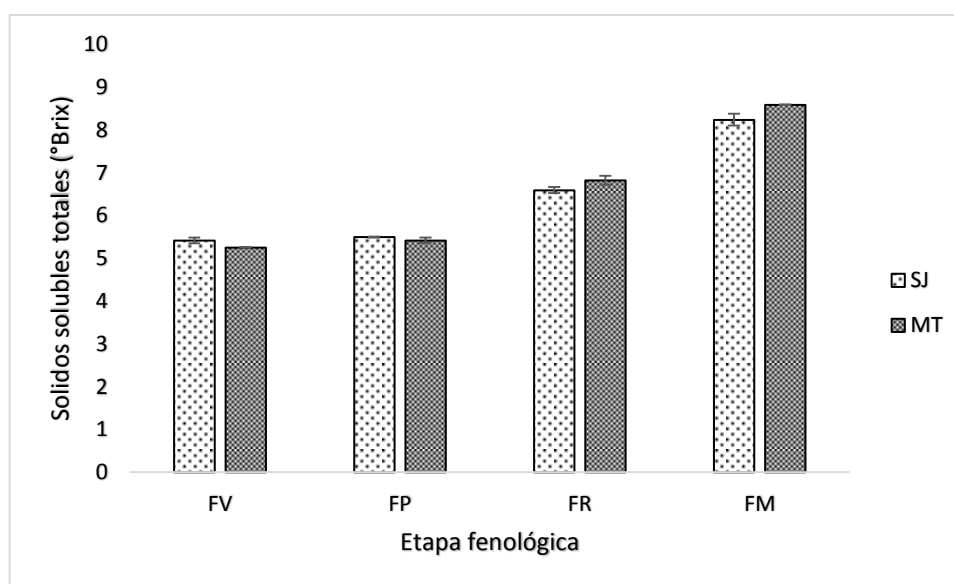


Figura 33. Solidos solubles totales (°Brix) con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Carmona et al., (2006) reportaron que frutos maduros de mora pueden tener 7,8 °Brix; Jaramillo et al., (2000) obtuvieron un valor entre 6,17 y 7,30 °Brix; García & García (2001) consiguieron promedios entre 5,5 y 7,5 °Brix y Alzate et al., (2010) valores entre 6,43 y 6,95 °Brix; estudios que resultan concordantes a lo encontrado para las frutos rojos y morados de las localidades de Motilón y San José, lo que representa frutos con un adecuado sabor para el mercado (Alzate et al., 2010). Aunque, en otros estudios se ha encontrado promedios de °Brix superiores a los reportados por este estudio, por ejemplo, Mejía (2011) reporta promedios entre 10,16 y 11,11 °Brix y Cárdenas (2013), encontró valores entre 11,0 y 11,5 °Brix.

Según la Norma Técnica Colombiana, NTC 4106, el fruto verde puede presentar valores entre 5,4 y 5,7 °Brix; el fruto pintón entre 5,7 y 6,1 °Brix; el fruto rojo entre 6,3 y 6,9 °Brix, y el fruto morado entre 7,7 y 8,5 °Brix. Por lo cual, los valores encontrados en los frutos de *Rubus glaucus* en el presente estudio están dentro de los parámetro establecidos de calidad principalmente los frutos rojos y morados que son objeto de comercialización. De manera específica Rodríguez & Yandar (2010) en su estudio realizado en el Corregimiento de Obonuco (Nariño) a 2800 msnm, encontraron que para el fruto verde el valor de ° Brix fue de 4,6, para el fruto pintón y fruto rojo 5,0, y para el fruto morado un valor de 7,7 °Brix. Con estos resultados los autores observaron que a medida que el fruto se desarrolla el contenido de azúcares va aumentando, concordando a lo encontrado en este estudio. Al respecto, Alzate et al., (2010), mencionan que a mayor madurez de los frutos estos presentan una mayor cantidad de °Brix. El comportamiento que presentan los sólidos solubles totales durante el proceso de desarrollo del fruto se explica por la degradación del almidón, el cual acumula azúcares principalmente glucosa, fructosa y sacarosa que son los constituyentes principales de los sólidos solubles (Rodríguez et al., 2006).

### 7.14 Acidez Total Titulable (ATT)

En ambas localidades objeto de estudio la ATT tiende a aumentar a medida que el fruto se desarrolla, aunque los máximos valores se registraron en la etapa fenológica de fruto rojo. En la localidad de San José los frutos de mora en los estados rojo y morado presentaron porcentajes de acidez de 3,38 % y 2,94 % (de ácido cítrico) respectivamente, mientras que en Motilón 3,19 % y 3 % respectivamente (Figura 34). Un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica de los frutos tiene un efecto significativo sobre la acidez total titulable ( $gl=3$ ;  $f=4,08$ ;  $p=0,02$ ) (Anexo V), lo que significa que los valores de acidez total titulable presentan cambios durante el desarrollo del fruto, es decir durante las etapas de fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado, además los valores de acidez total titulable en cada etapa fenológica dependen de la procedencia de los frutos, es decir, de la localidad.

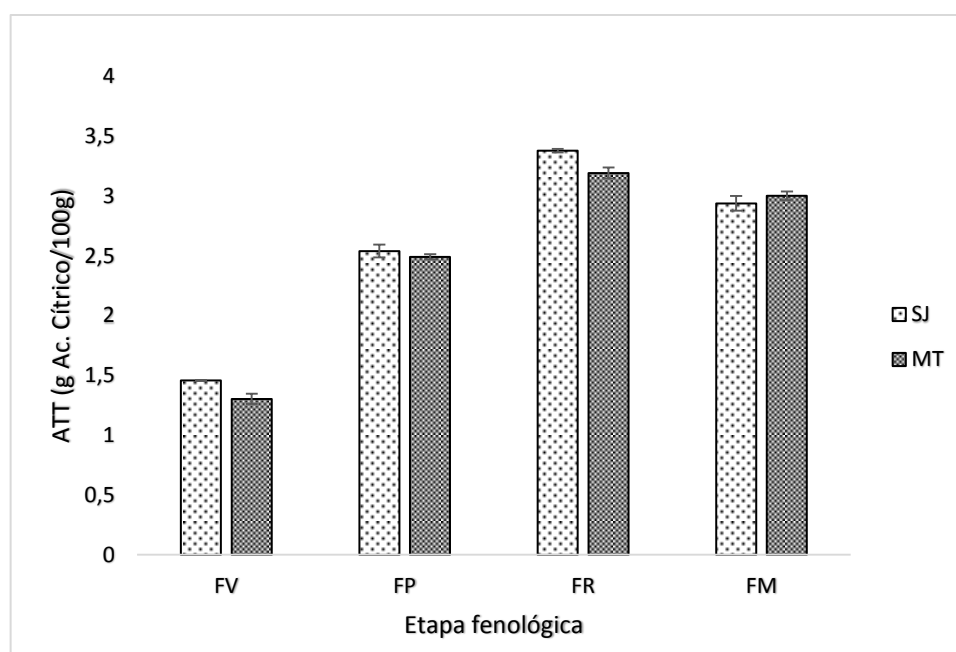


Figura 34. Acidez total titulable, % de ácido cítrico, con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Según la Norma Técnica Colombiana, NTC, 4106, el fruto verde debería presentar un valor de acidez total titulable de 3,3 %; el fruto pintón y el fruto rojo 3,4 % y el fruto morado entre 2,8 y 2,5 %. Por su parte, Jaramillo et al. (2000), observaron que los mayores valores de ATT se presentan en los primeros estados de desarrollo del fruto oscilando entre 3,03 y 4,02, mientras que en el estado de desarrollo más avanzado se presentan los menores valores de ATT, oscilando entre 2,24 y 3,13 %. Sora et al. (2006) observaron que los frutos rojos presentaron valores entre 3,3 y 3,7 %, mientras que el fruto morado entre 2,5 y 2,9 % de ácido cítrico. Alzate et al., (2010) encontraron el mayor valor de ATT en el grado de madurez 3 (fruto rojo) con un promedio de 3.36 %, mientras que el grado de maduración 6 (fruto morado) presentó un valor de 1,6%. Rodríguez & Yandar (2010) encontraron que la ATT en el fruto verde es de 1,8 %, seguido del fruto pintón con 2,9 % y 1,8 % para el fruto morado. Aguinaga & Guanotuña, (2013) encontraron en frutos maduros valores entre 1,9 y 2,6 % expresado como porcentaje de ácido cítrico. Según los anteriores estudios los valores encontrados en este estudio para la ATT están dentro de los valores esperados en frutos de mora.

Los estudios mencionados también indican que en los frutos rojos se registra el mayor porcentaje de acidez total titulable. Generalmente, se tiene en cuenta que la acidez disminuye a medida que se desarrolla el fruto debido al metabolismo de los ácidos orgánicos en azúcares (Alzate et al., 2010; Jaramillo et al., 2000), sin embargo esta tendencia de la ATT no se observó en este estudio, lo que se puede explicar a partir del comportamiento que presentó el ácido predominante que fue el ácido cítrico (Figura 32), y sobre el cual se expresó la ATT. Este ácido prácticamente tiende a aumentar hasta el estado de fruto rojo, disminuyendo cuando se alcanza el estado de fruto morado, comportamiento que se aprecia de una mejor manera en los análisis realizados para los frutos de la localidad de Motilón (Figura 32), por lo cual la ATT también aumenta hasta el estado de fruto rojo y disminuye para el estado de fruto morado. Esta disminución que se presenta en la última etapa puede estar relacionada a un mayor metabolismo del ácido cítrico durante el paso de fruto rojo a morado (Alzate et al., 2010; Jaramillo et al., 2000).

Finalmente, las diferencias encontradas en los valores de ATT en las diferentes etapas fenológicas del fruto entre ambas localidades están influenciadas por factores de ubicación geográfica (Ciro et al., 1998) y calidad de los suelos donde se desarrollan los cultivos (Cabezas et al., 2002). Que como ya se ha mencionado anteriormente las localidades de Motilón y San José presentan diferencias en temperatura y en el factor edáfico. Esto nos indica que los frutos de mora, en los estados verde, pintón y rojo, en ambientes de El Encano tienden a presentar mayores valores de ATT en zonas con una mayor temperatura media y máxima como las encontradas en San José, 14,77 °C y 19, 95 °C respectivamente, y de manera contraria tienden a presentar menores valores de ATT en zonas con una menor temperatura media y máxima como las registradas en Motilón, 14,15 °C y 17, 87 °C respectivamente. A pesar de las diferencias encontradas en cuanto a la ATT de los frutos entre ambas localidades, resulta importante destacar a los frutos rojos y morados de ambos sitios cuyos valores de ATT indican las propiedades antioxidantes que estos presentan y la importancia que traería en el consumo humano y para la industria de alimentos.

### **7.15 pH**

En ambas localidades objeto de estudio se observó que el pH de la mora tiende a disminuir a medida que el fruto se desarrolla. En San José el fruto verde presentó un valor de 3,38 alcanzando valores de 2,72 y 2,78 para las etapas fenológicas de fruto rojo y morado respectivamente. En Motilón el fruto verde presentó un pH de 3,41 alcanzando valores de 2,72 y 2,74 para las etapas fenológicas de fruto rojo y morado respectivamente (Figura 35). Finalmente un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica no tiene un efecto significativo sobre el pH de los frutos ( $gl=3$ ;  $f=5,97$ ;  $p=0,06$ ), aunque, discriminando el factor localidad, si se presentan diferencias entre las etapas fenológicas del fruto (Anexo U).

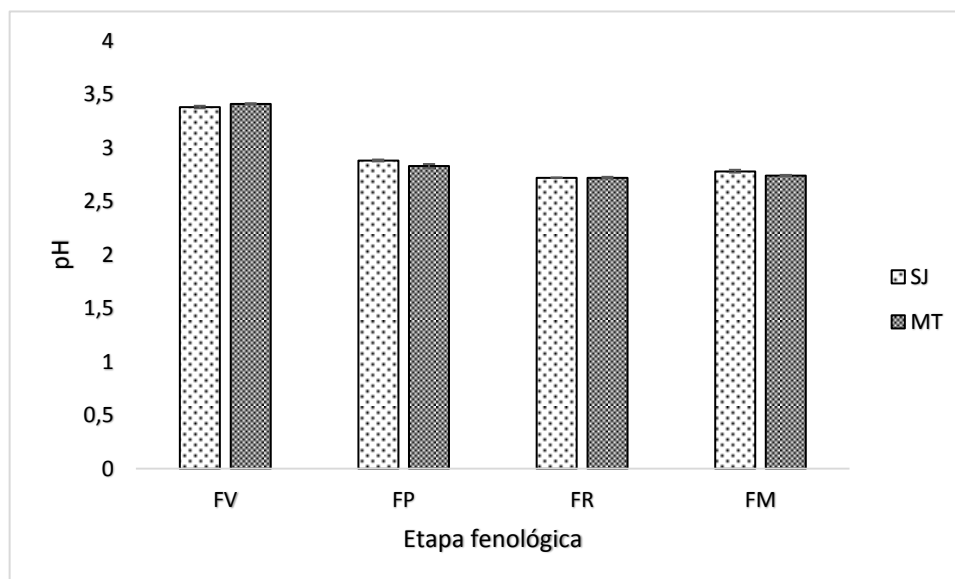


Figura 35. pH con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Alzate et al., (2010) encontraron que el pH menos ácido lo presentaron los frutos morados con un promedio de 2,72; para el mismo estado de madurez valores entre 2,4 y 3,6 fueron observados por Mejía (2011); Cárdenas (2013) reportó valores entre 2,6 y 2,8; y Aguinaga & Guanotuña, (2013) encontraron valores entre 2,94 y 3,08, indicando que son frutas ácidas. Estos valores resultan similares a los observados en este estudio. Finalmente Jaramillo et al., (2000) reportaron que a los 45 días de desarrollo el fruto presenta un pH igual a 2,89, a los 50 días 2,66, a los 55 días 2,66 y a los 60 días 2,76, resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente estudio. El estado más temprano de desarrollo (fruto verde) registró el mayor pH, tendiendo a disminuir a medida que se desarrolla el fruto, comportamiento que relacionó con los valores de acidez total titulable encontrada en cada estado fenológico, según Carmona et al., (2006) y Sora et al. (2006) el pH está relacionado inversamente con la acidez titulable, por lo que la muestra más ácida debería presentar menor pH.

Teóricamente el pH debería aumentar durante la maduración del fruto, debido a la disminución de los ácidos orgánicos por su uso para la respiración, aunque en este estudio el pH no tiende a aumentar debido a que algunos de los ácidos orgánicos analizados tienden a aumentar a medida que el fruto se desarrolla, como por ejemplo el ácido cítrico y el ácido ascórbico, al respecto, Alzate et al., (2010) explican que el pH decrece por la síntesis de ácidos orgánicos o por la fijación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ácidos como el málico o también como el ácido cítrico.

### 7.16 Carbohidratos totales

En ambas localidades el valor máximo de azúcares totales se registró para la etapa fenológica de fruto verde (Figura 36), punto a partir del cual tiende a disminuir hasta la etapa fenológica de fruto rojo, presentándose un leve incremento para la etapa de fruto morado. Un análisis de varianza demostró que la interacción entre localidad y etapa fenológica no tiene un efecto significativo sobre el contenido de carbohidratos totales ( $gl=3$ ;  $f=2,74$ ;  $p=0,5$ ) (Anexo X), lo que quiere decir que no se presentan diferencias entre localidades para cada etapa fenológica.

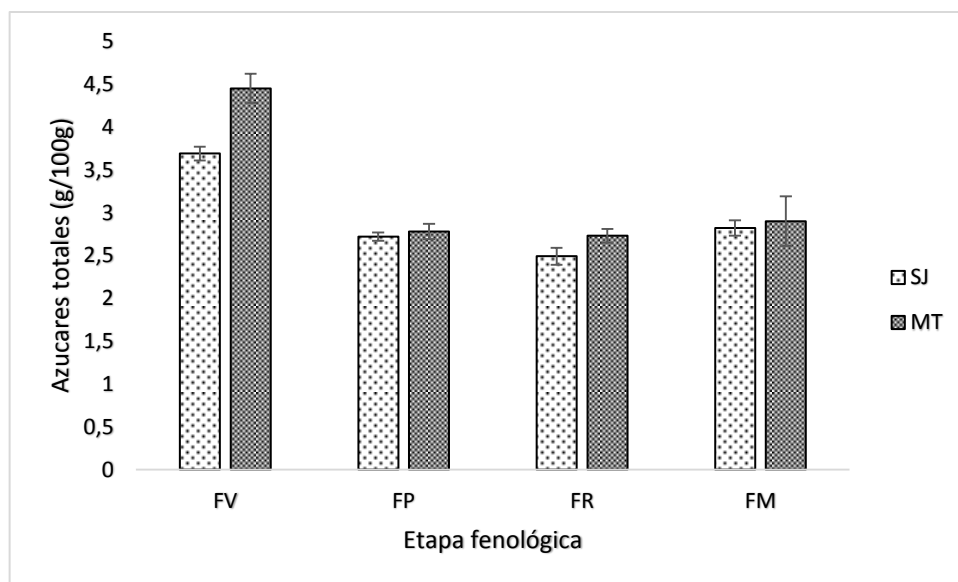


Figura 36. Azúcares totales con error estándar en frutos de *Rubus glaucus*, en las etapas fenológicas: Fruto verde (FV), Fruto pintón (FP), Fruto rojo (FR) y Fruto morado (FM) en las localidades de San José (SJ) y Motilón (MT)

Según Martínez-Trinidad et al., (2013) la concentración de carbohidratos presentes en el fruto es producto de la fotosíntesis, en este sentido la mayor concentración de azúcares encontrados en el estado de fruto verde probablemente se debe a la actividad fotosintética de la clorofila que se encuentra en este estado. Por otra parte, en el estado de fruto verde hay grandes reservas de almidón, las cuales se van transformando en azúcares por hidrólisis (Valero & Ruiz, 1998); estas reservas de almidón interfieren en el hecho de que en el fruto verde se haya registrado la mayor concentración de azúcares. Adicionalmente, como se menciona en Alzate et al., (2010) en la última etapa de desarrollo del fruto, se da el cambio de color rojo a morado oscuro, presentándose un aumento en la concentración de azúcares, como se observó en los resultados del presente estudio.

#### **7.17 Índice de madurez**

En ambas localidades, San José y Motilón, los índices de madurez fueron más altos en la etapa fenológica fruto verde, con valores de 3,57 y 3,88 respectivamente; seguido de la etapa fenológica fruto morado, en San José con un valor de 2,69 y en Motilón 2,74 (Figura 37).

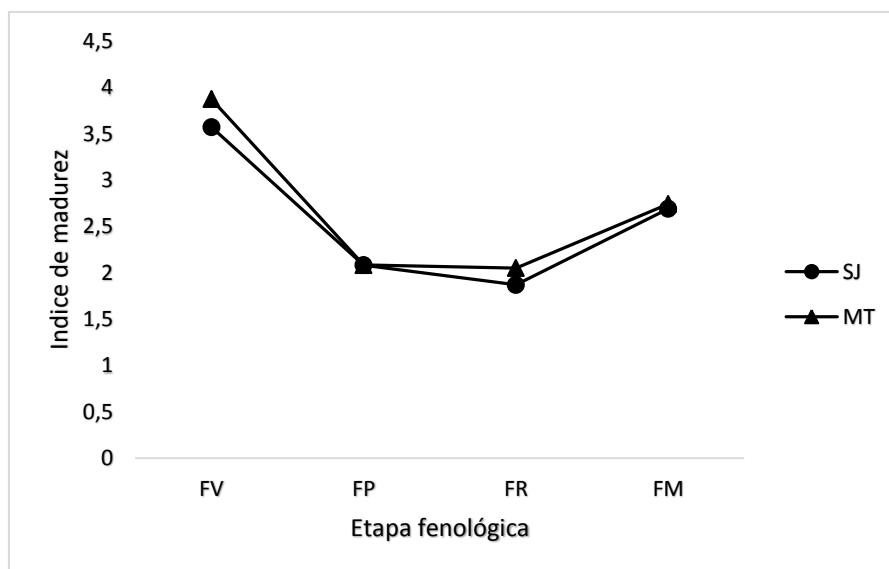


Figura 37. Índices de madurez de frutos de *Rubus glaucus* procedentes de las localidades de San José y Motilón, en las etapas fenológicas fruto verde (FV), fruto pintón (FP), fruto rojo (FR) y fruto morado (FM).

Según Alzate et al., (2010); Jaramillo et al., (2000) y Sora et al., (2006) el índice de madurez presenta un comportamiento proporcional a su tiempo de desarrollo, y acorde con lo anterior, Pinzón et al., (2007) expresan que cuando los frutos incrementan su metabolismo, traducido en máximos niveles de tasa respiratoria y catálisis de ácidos orgánicos, se da un aumento del índice de madurez, por su parte, Aguinaga & Guanotuña, (2013) también afirman que este índice aumenta a medida que el fruto madura y está mejor relacionado con las valoraciones organolépticas.

Evidentemente, se considera que el índice de madurez debe aumentar a medida que el fruto de mora se desarrolla, aunque esta tendencia no se observó en los resultados obtenidos en este trabajo. Un estudio realizado en el corregimiento de Obonuco (Nariño-Colombia) encontró una similar tendencia en los índices de madurez para los distintos estados de desarrollo del fruto, en el sentido en que este índice empieza a disminuir desde el estado de fruto verde hasta el estado de fruto rojo, volviendo a presentarse un aumento para el estado fruto maduro; estos autores encontraron que el fruto verde presenta un índice de madurez igual a 2,8; 2,1 para el fruto pintón; 2,0 para el fruto rojo y 3,3 para el fruto morado

(Rodríguez & Yandar, 2010); valores que no se diferencian en gran medida de los obtenidos en la presente investigación, lo que sugiere que las condiciones ambientales características de la alta montaña pueden incidir en los aspectos químicos de los frutos de *R. glaucus*.

Por otra parte, Aguinaga & Guanotuña, (2013) encontraron un valor igual a 4,34 para frutos maduros, mientras que Cárdenas (2013) reportó un valor de 9,18 para el mismo estado de madurez, Resultados que superan a los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, la norma NTC-4106 reporta que el fruto verde de la mora debería registrar un índice de madurez igual 1,6; el fruto pintón 1,7; el fruto rojo 1,9 y el fruto morado 2,6; en este sentido los valores de índice de madurez encontrados en los frutos rojos y morados, están dentro de los parámetros de calidad.

De manera concreta, los valores de índice de madurez de esta investigación para los distintos estados de desarrollo del fruto se deben a la relación inversa que hay entre contenido de sólidos solubles totales y el porcentaje de acidez, además factores internos, tales como mecanismos enzimáticos de desdoblamiento y síntesis de compuestos orgánicos influyen en la fase de maduración y por ende en el contenido de sólidos solubles y porcentaje de acidez, lo que finalmente influirá en los índices de madurez (Bautista, 1997), sin dejar a un lado las condiciones climáticas que actúan sobre los contenidos de sólidos solubles y porcentaje de acidez en cada etapa de desarrollo del fruto (Alzate et al., 2010; Jaramillo et al., 2000; Martínez-Trinidad et al., 2013).

## Análisis general entre la fisiología de *Rubus glaucus* y las variables ambientales registradas en las localidades de San José y Motilón de El Encano (Nariño - Colombia)

### 7.18 Correlaciones y regresiones de características fisiológicas de *Rubus glaucus* y variables ambientales

A nivel general se encontró escasa correlación entre las variables ambientales y las variables fisiológicas de la plantas (Tabla 3), principalmente, los análisis de correlación, demostraron que la temperatura máxima, la temperatura media, y el déficit de presión de vapor se correlacionan negativamente con la producción expresada en gramos de frutos, mientras que para este mismo parámetro la humedad relativa del ambiente se correlaciona de manera positiva. Por otra parte, el análisis de regresión múltiple paso a paso demostró que el déficit de presión de vapor y el  $\Delta T$  del ambiente son los principales factores que influyen en el peso de frutos de mora, con un  $\beta$  de 2,83 para  $\Delta T$  y de -107,3 para DVP. Sin embargo Otras variables de respuesta como las relacionadas con los pigmentos vegetales el crecimiento de hojas y tallos presentaron un  $R^2$  muy bajo, el cual no supera el 0,5 (Tabla 4).

Tabla 3. Análisis de correlación, entre variables ambientales y fisiológicas de cultivares de *Rubus glaucus*,

|                              | T-min  | P      | T-max          | P      | T-media        | P      | $\Delta T$ | P      | HR            | P      | DVP           | P      |
|------------------------------|--------|--------|----------------|--------|----------------|--------|------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| Área foliar                  | 0,1003 | 0,0024 | -0,0831        | 0,0119 | -0,0617        | 0,0621 | -0,0909    | 0,0059 | 0,0794        | 0,0162 | -0,078        | 0,0181 |
| Peso seco foliar             | 0,0529 | 0,1099 | -0,0590        | 0,0741 | -0,0597        | 0,0709 | -0,0608    | 0,0660 | 0,0690        | 0,0367 | -0,067        | 0,0399 |
| Área foliar específica       | 0,1897 | 0,000  | -0,0757        | 0,0220 | 0,0274         | 0,4083 | -0,1028    | 0,0018 | 0,0052        | 0,8756 | -0,005        | 0,8722 |
| Ramas secundarias.           | 0,3788 | 0,0000 | -0,4106        | 0,0000 | -0,2824        | 0,0000 | -0,4254    | 0,0000 | 0,3940        | 0,0000 | -0,386        | 0,0000 |
| Peso seco del tallo          | -0,016 | 0,7668 | -0,0044        | 0,9378 | -0,0298        | 0,5955 | -0,0002    | 0,9978 | 0,0181        | 0,7468 | -0,022        | 0,6912 |
| Producción (No.frutos/rama)  | -0,163 | 0,1468 | -0,1764        | 0,1174 | -0,2770        | 0,0131 | 0,0645     | 0,5688 | 0,0532        | 0,6384 | -0,108        | 0,3386 |
| Producción (g.Frutos/rama)   | -0,381 | 0,0005 | <b>-0,5671</b> | 0,0000 | <b>-0,6764</b> | 0,0000 | -0,3797    | 0,0005 | <b>0,5959</b> | 0,0000 | <b>-0,622</b> | 0,0000 |
| Contenido de Clorofila a     | -0,205 | 0,1605 | -0,1934        | 0,1878 | -0,2602        | 0,0741 | -0,1147    | 0,4376 | 0,2863        | 0,0485 | -0,310        | 0,0315 |
| Contenido de Clorofila b     | -0,450 | 0,0014 | -0,1860        | 0,2051 | -0,1377        | 0,3497 | -0,0388    | 0,7926 | 0,3934        | 0,0060 | -0,320        | 0,0266 |
| Contenido de Clorofila total | -0,444 | 0,0017 | -0,2156        | 0,1406 | -0,1546        | 0,2928 | -0,0867    | 0,5566 | 0,3908        | 0,0063 | -0,313        | 0,0303 |
| Contenido de Carotenoides    | -0,430 | 0,0024 | -0,1553        | 0,2908 | -0,1595        | 0,2777 | 0,0000     | 0,9997 | 0,3830        | 0,0075 | -0,308        | 0,0333 |

En negrilla se muestran valores más significativos

Tabla 4. Modelo de regresión lineal paso a paso de los rasgos fisiológico de *Rubus glaucus*, contempladas en el objetivo 1, dependientes de factores ambientales específicos.

| Variable dependiente         | Modelo de regresión lineal                                                                     | R <sup>2</sup> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Área foliar                  | $Y=4,41093-88,4913(DPV)^{***}+5,11384(T.media)^{**}$                                           | 0,007          |
| Peso fresco foliar           | $Y=0,75838-0,04174(\Delta T)^{***}+0,06904(T.media)^{*}$                                       | 0,009          |
| Peso seco foliar             | $Y=-0,11492-0,97293(DPV)^{***}+0,05861(T.media)^{**}$                                          | 0,006          |
| Área foliar específica       | $Y=114,447-2,14520(\Delta T)^{***}+87,9773(DPV)^{***}$                                         | 0,032          |
| Ramas secundarias.           | $Y=-0,09932-0,61620(\Delta T)^{***}+0,39442(T.max)^{*}$                                        | 0,142          |
| Peso fresco del tallo        | No significativa                                                                               | -----          |
| Peso seco del tallo          | No significativa                                                                               | -----          |
| Producción (No.frutos/rama)  | $Y=-206,755+2,91603(\Delta T)^{***}+3,37899(HR)^{***}-9,13593(T.max)^{***}+289,819(DPV)^{***}$ | 0,245          |
| Producción (g.frutos/rama)   | <b><math>Y=24,2262+2,83073(\Delta T)^{***}-107,311(DPV)^{***}</math></b>                       | <b>0,5</b>     |
| Contenido de Clorofila a     | $Y=1,53535-1,14923(DPV)^{*}$                                                                   | 0,069          |
| Contenido de Clorofila b     | No significativo                                                                               | -----          |
| Contenido de Clorofila total | No significativo                                                                               | -----          |
| Contenido de Carotenoides    | $Y=10,18,53-0,10855(HR)^{**}+0,07367(T.max)^{***}-7,10401(DPV)^{***}$                          | 0,213          |

En negrilla se muestran los modelos que resultaron confiables. Significancia: \*, 0.05; \*\*, 0.01; \*\*\*, 0.001

El hecho de que la producción expresada en gramos de frutos por rama presente una correlación negativa con el déficit de presión de vapor y una correlación positiva con la humedad relativa del ambiente, se podría explicar según Rodríguez & Yandar (2010), estos autores mencionan que el contenido humedad en un fruto aumenta a medida que los mismos maduran, proceso que puede verse afectado si el aire que rodea la fruta tiene una humedad relativa baja, lo que causa un alto déficit de presión de vapor, causando el flujo de agua del producto hacia el medio, provocando una pérdida de agua (Alzate et al., 2010). Por otra parte, se tiene presente que el valor de la humedad relativa es inversamente proporcional al de temperatura; es decir, cuando la temperatura media del ambiente es alta, la humedad relativa será baja, en el mismo sentido, la humedad relativa del ambiente será mínima a la hora de la máxima temperatura (Buytaert et al., 2006), lo que explica la correlación negativa que presenta la producción expresada en: gramos de frutos por rama, con la temperatura media y máxima del ambiente.

Por otra parte, el análisis de regresión paso a paso nos indica que en las localidades San José y Motilón de El Encano, principalmente el  $\Delta T$  y el déficit de presión de vapor influyen sobre la producción expresada en *peso de frutos/rama*, lo que tiene que ver probablemente con la interacción entre el genotipo y el ambiente en el cual se desarrolla la especie *R. glaucus* (Alzate et al., 2010). La temperatura es un factor que tiene una mayor importancia sobre el desarrollo de las plantas (Machado et al., 2006; Ritchie & Nesmith, 1991), específicamente sobre la velocidad de crecimiento y por consiguiente sobre las reacciones bioquímicas (Fernández & Johnston, 2006), mientras que el déficit de presión de vapor está relacionado con el peso fresco de los frutos, como ya se mencionó anteriormente. Palencia, Martínez, Medina, & López-Medina, (2013) indican que la temperatura y la radiación solar son los principales factores ambientales que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa, siendo la temperatura un factor limitante en la productividad del cultivo expresada en gramos por planta.

#### **7.19 Correlaciones y Regresiones de características del fruto de *Rubus glaucus* y variables ambientales**

A nivel general se encontró escasa correlación entre las variables ambientales y las variables de calidad del fruto de mora (Tabla 5). Por otro lado los análisis de regresión paso a paso, demostraron que el contenido de ácido oxálico, azúcares totales, el pH, los sólidos solubles totales y la acidez total titulables de los frutos de *Rubus glaucus* se puede explicar a partir del  $\Delta T$ , humedad relativa, temperatura máxima y déficit de presión de vapor del ambiente, modelos con un  $R^2 > 0,5$  (Tabla 6).

Tabla 5. Análisis de correlación, entre variables ambientales y fisicoquímicas de los frutos de *Rubus glaucus*, contempladas en el objetivo 2.

|                      | T-min  | P      | T-max   | P      | T-media | P      | $\Delta T$ | P      | HR     | P      | DVP    | P      |
|----------------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ácido Oxálico        | 0,4866 | 0,0175 | 0,3083  | 0,1508 | 0,4100  | 0,0057 | 0,0578     | 0,7916 | -0,477 | 0,0165 | 0,45   | 0,0294 |
| Ácido Málico         | 0,1167 | 0,5960 | 0,1443  | 0,5113 | 0,1797  | 0,4118 | 0,0888     | 0,6869 | -0,097 | 0,6583 | 0,1549 | 0,4802 |
| Ácido Cítrico        | 0,1305 | 0,5527 | -0,1975 | 0,3664 | -0,1357 | 0,5371 | -0,2293    | 0,2927 | 0,2795 | 0,1964 | -0,226 | 0,2988 |
| Ácido Ascórbico      | 0,2848 | 0,1774 | -0,3174 | 0,1307 | -0,1907 | 0,3721 | -0,3960    | 0,0555 | 0,4035 | 0,0505 | -0,331 | 0,1134 |
| Azúcares totales     | 0,1552 | 0,4659 | 0,0263  | 0,9013 | 0,4011  | 0,0527 | -0,0840    | 0,6944 | -0,161 | 0,4485 | 0,1363 | 0,5231 |
| pH                   | -0,046 | 0,8309 | -0,0830 | 0,6974 | 0,1858  | 0,3823 | 0,0822     | 0,7004 | -0,019 | 0,9271 | -0,017 | 0,9336 |
| SST                  | 0,0475 | 0,8245 | -0,2718 | 0,1975 | -0,2560 | 0,2253 | -0,3836    | 0,0652 | 0,4064 | 0,0495 | -0,355 | 0,0887 |
| ATT                  | -0,054 | 0,8024 | -0,0066 | 0,9757 | -0,3049 | 0,1468 | -0,0939    | 0,6615 | 0,1209 | 0,5695 | -0,083 | 0,6974 |
| Diámetro polar       | -0,237 | 0,0000 | 0,2953  | 0,0000 | 0,2469  | 0,0000 | 0,2318     | 0,0000 | 0,0271 | 0,5657 | 0,0686 | 0,1459 |
| Diámetro ecuatorial  | -0,208 | 0,0000 | 0,3681  | 0,0000 | 0,3305  | 0,0000 | 0,2809     | 0,0000 | -0,035 | 0,4510 | 0,1423 | 0,0025 |
| Peso fresco          | -0,228 | 0,0000 | 0,3393  | 0,0000 | 0,2951  | 0,0000 | 0,2636     | 0,0000 | 0,0048 | 0,9197 | 0,1019 | 0,0306 |
| Peso seco            | -0,276 | 0,0000 | 0,2969  | 0,0000 | 0,2448  | 0,0000 | 0,2465     | 0,0000 | 0,0089 | 0,8507 | 0,0790 | 0,0941 |
| Contenido de humedad | -0,221 | 0,0000 | 0,3414  | 0,0000 | 0,2983  | 0,0000 | 0,2635     | 0,0000 | 0,0047 | 0,9202 | 0,1036 | 0,0280 |

Tabla 6. Modelo de regresión lineal paso a paso de los rasgos fisiológicos de *Rubus glaucus*, contempladas en el objetivo 2, dependientes de factores ambientales específicos.

| Variable dependiente     | Modelo de regresión lineal                                                                         | R <sup>2</sup> |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Ácido Oxálico            | <b>Y=20,4745+0,27611(<math>\Delta T</math>)*-1,68927(T.max)***+36,1006(DPV)***</b>                 | <b>0,751</b>   |
| Ácido Málico             | Y=-10197,0+44,5551( $\Delta T$ )*+125,130(HR)***-137,656(T.max)*+7464,09(DPV)***                   | 0,359          |
| Ácido Cítrico            | Y=-13500,6+146,144(HR)**+5557,92(DPV)**                                                            | 0,262          |
| Ácido Ascórbico          | Y=-684152+073782(HR)***+27,9958(DPV)***                                                            | 0,356          |
| Azúcares totales         | <b>Y=-60,4465+0,31717(<math>\Delta T</math>)*+0,79307(HR)***-1,11254(T.max)***+55,0565(DPV)***</b> | <b>0,652</b>   |
| pH                       | <b>Y=-26,9222+0,21768(<math>\Delta T</math>)*+0,40398(HR)***-0,76447(T.max)***+30,8776(DPV)***</b> | <b>0,694</b>   |
| Solidos solubles totales | <b>Y=68,9024-1,00877(<math>\Delta T</math>)*-1,06658(HR)**+3,44501(T.max)***-107,190(DPV)***</b>   | <b>0,593</b>   |
| Acidez total titulable   | <b>Y=90,2076-0,64386(<math>\Delta T</math>)*-1,20418(HR)***+2,39198(T.max)***-94,8562(DPV)***</b>  | <b>0,879</b>   |
| Diámetro polar           | Y=239,730-1,71421( $\Delta T$ )*-2,82017(HR)***+4,03561(T.max)***-183,103(DPV)***                  | 0,354          |
| Diámetro ecuatorial      | Y=237,193-1,86515( $\Delta T$ )*-2,83557(HR)***+4,11886(T.max)***-177,879(DPV)***                  | 0,418          |
| Peso fresco              | Y=68,1019-0,52154( $\Delta T$ )*-0,83670(HR)***+1,22698(T.max)***-54,6167(DPV)***                  | 0,331          |
| Peso seco                | Y=9,11420-0,05637( $\Delta T$ )*-0,10924(HR)***+0,14541(T.max)***-7,09490(DPV)***                  | 0,164          |
| Contenido de humedad     | Y=58,9877-0,46517( $\Delta T$ )*-0,72746(HR)***+1,08157(T.max)***-47,5218(DPV)***                  | 0,338          |

En negrilla se muestran los modelos que resultaron confiables. Significancia: \*, 0.05; \*\*, 0.01; \*\*\*, 0.001

El hecho de encontrar bajas asociaciones entre las variables ambientales y las variables fisicoquímicas de los frutos, amerita tener en cuenta más de dos cultivares de *Rubus glaucus* de tierras alto andinas como es el caso de El Encano, con el propósito de tener más variabilidad de datos climáticos y fisicoquímicos de los frutos de mora, lo que podría permitir el observar como se comportan las propiedades fisicoquímicas de los frutos frente a las variables climáticas, hecho que podría dar un mejor conocimiento sobre la relación entre los frutos de *R. glaucus* con el ambiente de tierras altoandinas.

De forma contraria, los análisis de regresión paso a paso arrojaron algunos modelos con  $R^2$  altos, en los cuales se puede observar que la temperatura, junto con la humedad relativa y el déficit de presión de vapor juegan un papel importante en las propiedades químicas de los frutos, en efecto, dependiendo de la región donde se cultive la mora las condiciones ambientales serán diferentes, y en este estudio los resultados arrojados nos permiten dar una idea de la forma en que las condiciones ambientales de regiones altoandinas como es el caso de El Encano interactúan o inciden sobre los frutos de *R. glaucus*.

Los anteriores resultados brindan una idea general de como la especie *Rubus glaucus* se encuentra influenciada por el ambiente en zonas de alta montaña, siendo en este caso los factores temperatura, déficit de presión de vapor y humedad los factores que juegan un papel importante en el comportamiento fisiológico de la mora de Castilla, *Rubus glaucus*, y a una mayor escala en el comportamiento o rendimiento de los cultivares de la especie en cuestión.

## 8 CONCLUSIONES

- Los resultados indicaron que localidades pertenecientes al Encano presentan diferencias edafoclimáticas, las cuales inciden en las respuestas fisiológicas de *Rubus glaucus*. La localidad de San José presentó una temperatura media, y máxima mayor a la localidad de Motilón por el contrario la temperatura mínima fue más alta en Motilón.
- Los resultados de esta investigación mostraron que la fenología de *Rubus glaucus* está influenciada por las características ambientales, siendo la temperatura el factor principal. En San José, el tiempo promedio que tarda un botón floral en convertirse en fruto morado es menor que en la localidad de Motilón. En el mismo sentido, en la localidad de San José un botón floral requiere de menos grados día acumulados para llegar al estado de fruto morado.
- En ambas localidades la especie *Rubus glaucus* presentó un comportamiento semejante en el crecimiento vegetativo y también produce el mismo número de ramas nuevas en las dos localidades. Las variables área foliar total, peso seco foliar total y área foliar específica, se ajustaron a un modelo de crecimiento polinomial de segundo grado, de la forma:  $Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$ . Mientras que el peso seco de cada tipo de rama se ajustó a un modelo logístico de tres parámetros, expresado por la ecuación  $Y = a / (1 + \text{Exp}(b - c \cdot X))$ , estos modelos de crecimiento indicaron que las ramas macho en ambas localidades llegan a alcanzar un peso seco superior al que podrían llegar a alcanzar las ramas látigo y las ramas productivas.
- La especie *Rubus glaucus* presenta una respuesta diferente en cada localidad en cuanto a contenido de pigmentos vegetales como lo son clorofila a, clorofila total y carotenoides. Por otro lado, en ambas localidades la especie *Rubus glaucus* tiende a generar frutos con características de calidad química que están dentro de los estándares según la Norma NTC, sin embargo se presentaron ciertas diferencias entre las localidades, destacando que en San José se encontraron frutos con un mayor contenido de ácidos orgánicos y Vitamina C.

- En ambas localidades, Motilón y San José, la especie *Rubus glaucus* produce el mismo número y peso de frutos verdes, pintones, rojos y morados, sin embargo a una escala mayor, la localidad de San José tiene mejores rendimientos, kg/ha que la localidad de Motilón. El número de frutos va disminuyendo a medida que se presentan las etapas de maduración del fruto.
- El modelo que mejor describió el crecimiento de los frutos de *Rubus glaucus* en ambientes del Encano, para las variables diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso fresco y peso seco fue el logístico de 3 parámetros, expresado por la ecuación  $Y = a/(1+\text{Exp}(b-c*X))$ .
- Este modelo indicó que los frutos de la localidad de Motilón podrían llegar a alcanzar un tamaño y peso superior a los frutos de la localidad de San José, lo que sugiere que es necesario mejorar las condiciones de manejo del cultivo para conseguir mejores resultados en cuanto a rendimiento.
- Los análisis de correlación y regresión paso a paso entre las variables de fisiología y calidad con el ambiente de cultivo indicaron que los factores temperatura, déficit de presión de vapor y humedad relativa inciden en las respuestas de rendimiento (gramos de frutos/rama), y en las características químicas de los frutos, como ácido oxálico, azúcares totales, pH, sólidos solubles totales y acidez total titulable.

## 9 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el presente estudio involucrando en el análisis cultivares presentes a alturas contrastantes, para entender de una mejor manera como los factores ambientales inciden en las respuestas fisiológicas de *Rubus glaucus*; análisis que servirían de base para implementar programas de selección y mejoramiento genético.
- Es importante poner especial atención a las prácticas de manejo realizadas sobre los cultivares de *Rubus glaucus*, puesto que según los modelos de crecimiento los frutos de ambas localidades pueden llegar a conseguir características de tamaño y peso superiores a los valores reales registrados.
- Realizar ensayos bajo los cuales se compare las distintas respuestas fisiológicas de *Rubus glaucus* con condiciones ambientales y de manejo diferentes. Aspectos que permitirán realizar recomendaciones para mejorar las técnicas de cultivo que se presentan actualmente.
- Se recomienda tener en cuenta otros factores ambientales, como por ejemplo precipitación, radiación y velocidad del viento, al momento de evaluar las respuestas fisiológicas de *Rubus glaucus*.
- Realizar investigaciones encaminadas a determinar el grado y tipo de aborto que se presenta en *Rubus glaucus* en ambientes de alta montaña, ya que el número de frutos morados obtenidos al final de un ciclo productivo es bastante inferior al número de frutos que se observan en el estado de fruto verde, fenómeno que incide negativamente en el rendimiento o producción de un cultivar.

## 10 LITERATURA CITADA

- Ackerly, D., Dudley, A., Sultan, E., Schmitt, J., Coleman, S., Linder, R., & Lechowicz, J. (2000). The Evolution of Plant Ecophysiological Traits: Recent Advances and Future Directions New research addresses natural selection, genetic constraints, and the adaptive evolution of plant ecophysiological traits. *BioScience*, 50(11), 979–995. doi:10.1641/0006-3568(2000)050[0979:TEOPET]2.0.CO;2
- Agronet (2014). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Bogotá D.C. [www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co)
- Aguinaga, M., & Guanotuña, L. (2013). *Evaluación agronómica y pomológica de clones experimentales de mora de castilla (Rubus glaucus Benth) en Cotacachi* (tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado el 23 de Noviembre del 2014, disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2305>
- Aleric, M., & Kirkman, L. (2005). Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments. *American Journal of Botany*, 92, 682–689.
- Almeida, F., & Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448. doi:10.1590/S1677-04202007000400011
- Alonso, M., Farrés, E., Tornet, Y., Castro, J., Ramos, R., & Rodríguez, M. (2008). Evaluación de tres cultivares de papaya del grupo Solo basada en caracteres de crecimiento y productividad. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 59–64.
- Álvarez, M. (2011). *Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta* (tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. Recuperado el 1 de Diciembre del 2014, disponible en <http://repositorio.bib.upct.es:8080/dspace/handle/10317/3194>
- Alzate, A., Mayor, N., & Montoya, S. (2010). Influencia del manejo agronómico, condiciones edáficas y climáticas sobre las propiedades físicoquímicas y fisiológicas de la mora (*Rubus glaucus* Benth.) en dos zonas de la región centro sur del Departamento de Caldas. *Agronomía (Manizales)*, 18(2), 37–46.

- Andrade, F., Aguirrezábal, L., & Rizzalli, R. (2002). Crecimiento y rendimiento comparados. 57-96. In Andrade F.H., y Sadras V.O. (eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 2ª ed. E.E.A.INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- Ardila, G., Fischer, G., & Balaguera-López, H. (2011). Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Horticolas*, 5(1), 44–56.
- Aristizábal, M. (2008). EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO FOLIAR DEL PLÁTANO HONDUREÑO ENANO (Musa AAB) EN UNA REGIÓN CAFETERA COLOMBIANA. *Agronomía (Manizales)*, 16(2), 23–30.
- Ayala, L., Valenzuela, P., & Bohórquez, Y. (2013). Variables Determinantes De La Madurez Comercial En La Mora De Castilla (*Rubus glaucus* Benth). *Scientia Agroalimentaria*, 1, 39-44. Recuperado el 25 de Octubre del 2014, disponible en <http://ut-repositorio.metabiblioteca.org/handle/001/1153>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Primera edición. Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- Balaguera-López, H., & Arévalo, A. (2012). Biochemical changes during growth and until harvest of champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & amp; P. Myrtaceae family) fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(2), 460–468. doi:10.1590/S0100-29452012000200019
- Barbazán, M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Barrero, L. (2009). Caracterización, evaluación y producción de material limpio de mora con alto valor agregado. Cundinamarca - Colombia. Corpoica. 84.
- Barrios-Gómez, E., & López-Castañeda, C. (2009). Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia*, 43(1), 29–35.
- Bautista, D. (1997). Efecto de las distancias de siembra sobre la producción de la mora (*Rubus glaucus* Benth.). *Agronomía Tropical (Venezuela)*, 27(5), 503-509.
- Begon, M. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (4th ed.). Malden, MA: Blackwell Pub.

- Bermúdez, L., Rodríguez, H., Cadena, T., & Franco, G. (2000). Condiciones ambientales asociadas a la altitud como reguladores del crecimiento y desarrollo del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) en la Zona Central Cafetera Colombiana. En *Tercer Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado*.
- Bremner, L., & Mulvaney, C. (1982). Total nitrogen. pp. 595- 634. En: R., Miller y D., Keeney (eds): *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (Agronomy 9). 2nd edition*. Madison, Wisconsin, USA.
- Buytaert W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean Paramus. *Earth-Science Reviews* 79, 53–72.
- Cabezas, M., Galvis, J., & Ochoa, C. (2002). Eficiencia agronómica y económica de la aplicación de gallinaza y fósforo, en mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth.) para la zona fría de Boyacá. *4o. Memorias del 4o. seminario nacional sobre frutales de clima frío moderado*, Medellín, Colombia, 189-194.
- Calderón, Z., Rodríguez, A., Becerril, R., Livera, M., & Colinas, L. (1997). Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis y el desarrollo de durazno en producción forzada. *Agrociencia*, 31, 291–296.
- Campostrini, E., & Glenn, M. (2007). Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 413–424. doi:10.1590/S1677-04202007000400010
- Caram, A., Angeloni, P., & Prause, J. (2007). Determinación de la curva de dilución de nitrógeno en diferentes fases fenológicas del girasol. *Agricultura Técnica*, 67(2), 189–195.
- Cárdenas, C. (2013). *Evaluación agronómica y fenología de dos clones de mora sin espinas (Rubus glaucus Benth) para determinar su potencial comercial. Tumbaco, Ecuador* (tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Carmona, J., Aguirre, G., Echeverri, M., Giraldo, J., Gutiérrez, A., Tovar, W., & Varón, S. (2006). Caracterización fisicoquímica de seis materiales de mora (*Rubus glaucus* Benth) producidas en la ciudad de Manizales. *Agronomía Colombiana*, 24, 306-316.

- Carrillo, H., Rebolledo, A., Bolaños, M., & Ríos, L. (2012). Poda, nutrición y riego en huertos tecnificados de guayaba, variedad Palmira ICA 1. Colombia. Cali: Corpoica.
- Casper, C. (2011). The opposing paradigms in resource limitation on plant growth. Working paper. 12 p.
- Castaño, C., Morales, C., & Obando, F. (2008). EVALUACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN EL CULTIVO DE LA MORA (*Rubus glaucus*) EN CONDICIONES CONTROLADAS PARA BOSQUE MONTANO BAJO. *Agronomía*, 16(1), 75–88.
- Castillo, M., Colinas, T., Martínez, A., & Ortega, L. (1996). Fluctuación anual de carbohidratos en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv Colin V-33. Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, SC Coatepec Harinas, México.
- Catania, S., & Avagnina, S. (2007). Implicaciones organolépticas de la fermentación maloláctica. *Curso superior de degustación de vinos. EEA Mendoza. INTA*.
- Cenóz, P., Burgos, A., & López, A. (2005). La temperatura como factor de crecimiento y rendimiento de raíces en mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Cha-um, S., Yamada, N., Takabe, T., & Kirdmanee, C. (2013). Physiological features and growth characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to reduced water-deficit and rewatering. *Australian Journal of Crop Science*, 7(3), 432–439.
- Ciro, P., Castaño, E., Salazar, H., & Maya, M. (1998). Caracterización organoléptica y fisicoquímica de materiales de mora, (*Rubus glaucus* benth) como fruta fresca y subproducto en Caldas, Risaralda y Quindío. 2. *Seminario Frutales de Clima Frío Moderado, Cartagena (Colombia). Memorias del 2o. seminario frutales de clima frío moderado*, 133-138.
- Connor, J., & Sadras, O. (1992). Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Research*, 30(3–4), 333–389. doi:10.1016/0378-4290(92)90006-U
- Contran, N., Günthardt-Goerg, S., Kuster, M., Cerana, R., Crosti, P., & Paoletti, E. (2013). Physiological and biochemical responses of *Quercus pubescens* to air warming and drought on acidic and calcareous soils. *Plant Biology*, 15, 157–168. doi:10.1111/j.1438-8677.2012.00627.x

- Corcuera, L., Maestro, C., & Notivol, E. (2008). La ecofisiología como herramienta para la selección de clones más adaptados y productivos en el marco de una selvicultura clonal con chopos. *Forest Systems*, 14(3), 394–407.
- Córdoba, G., Parra, M., Solarte, M. & Padilla, D. (2013). Relación de factores ambientales sobre la fisiología de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) en una zona productora alto andina del departamento de Nariño (Colombia). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Biología, Grupo de Biología de Páramos y Ecosistemas Andinos (Resultados no publicados).
- Costa, S., Montenegro, M., Arregui, T., Pinto, M., Nazareno, M., & Mishima, B. (2003). Characterization of fresh Beta vulgaris from Santiago del Estero (Argentina). Nutrient and carotenoid content of stem and leaves. *Food Science and Technology (Campinas)*, 23(1), 33–37. doi:10.1590/S0101-20612003000100008
- Craine, M. (2006). Competition for Nutrients and Optimal Root Allocation. *Plant and Soil*, 285(1-2), 171–185. doi:10.1007/s11104-006-9002-x
- DaMatta, M., Ronchi, P., Maestri, M., & Barros, S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485–510. doi:10.1590/S1677-04202007000400014
- Dallagnol, J., Rodrigues, A., Chaves, M., Vale, R., & DaMatta, M. (2013). Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with Bipolaris oryzae. *Plant Pathology*, 62(1), 120–129. doi:10.1111/j.1365-3059.2012.02606.x
- De la Cadena, J., & Orellana, A. (1984). El cultivo de la mora, Manual del Capacitador. Unidad de Capacitación de Fruticultura. Instituto Nacional de Capacitación Campesina. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2013). I Censo Nacional de 10 Frutas Agroindustriales y Promisorias. Recuperado el 12 de Junio del 2014, disponible en: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)
- Dewick, M. (2002). *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach*. Second edition. EEUU: John Wiley & Sons.

- Dolinski, C., & Lacey, A. (2007). Microbial control of arthropod pests of tropical tree fruits. *Neotropical Entomology*, 36(2), 161–179. doi:10.1590/S1519-566X2007000200001
- Donoso, S., Peña, K., Pacheco, C., Luna, G., & Aguirre, A. (2011). Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque (Valdivia)*, 32(2), 187–195. doi:10.4067/S0717-92002011000200009
- Enciso, B., & Gómez, C. (2004). Comparación de las respuestas de cuatro cultivares de mora (*Rubus* sp.) a las variaciones del factor luz. *Agronomía Colombiana*, 22 (1), 46-52.
- Eraso, S. (1988). El cultivo de la mora en Colombia. Memorias curso nacional de frutales Raúl Salazar. *Instituto Colombiano Agropecuario ICA*, 3, 31-38.
- Fernández, G., & Johnston, M. (2006). Crecimiento y Temperatura. En F. Squeo, y L. Cardemil. (Eds.), *Fisiología Vegetal*. La Serena, Chile: Universidad de La Serena.
- Fischer, G. (2000). Ecofisiología en frutales de clima frío moderado. Memorias III Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado, Manizales, 51-59.
- Fischer, G., Casierra-Posada, F., & Piedrahíta, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia.
- Flores, J. (2011). *Determinación de los índices de madurez para la comercialización de durazno (Prunus persicae) variedad conservero amarillo en dos tipos de ambientes para mercados de las zona central del país* (tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado el 13 de Noviembre del 2014, disponible en <http://repo.uta.edu.ec:8080/xmlui/handle/123456789/2342>
- Forero de La Rotta, M., & Muñoz, V. (2001). *Enfermedades de la mora de castilla*. Boletín de Sanidad Vegetal N° 34. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Bogotá, Colombia: Produmedios.
- Franco, G., Rodríguez, J., & Guevara, N. (1996). Propagación de la Mora por estaca modificada. En Primer seminario frutales de clima frío moderado. Simposio llevado

- a cabo en el congreso Centro de desarrollo tecnológico de frutales C.D.T.F, Manizales.
- Franco, G., & Giraldo, M. (2002). El Cultivo de la mora. Manual de asistencia técnica. CORPOICA, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, SENA, Comité Técnico Agropecuario de Risaralda, UMATA. Risaralda.
- Galindo-Reyes, M., González-Hernández, V., López-Jiménez, A., Sánchez-García, P., Soto-Hernández, R. & Muratalla-Lúa, A. (2006). Sistemas de manejo para producir dos o tres cosechas por año en frambuesa roja en clima templado. Recuperado el 12 de Octubre del 2014, disponible en <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=61029110>
- Galindo-Reyes, M., Muratalla-Lúa, A., Sánchez-García, R., López-Jiménez, P., Soto-Hernández, M., & González-Hernández, A. (2011). Concentración y acumulación de N, P y K en frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) manejada a dos cosechas anuales. *Terra Latinoamericana*, 29 (2), 143-151.
- Gallego, G., Franco, G., Muñoz, C., & Rodríguez, J. (1996). “Caracterización del Sistema de producción de Mora en los municipios de Quinchía, Guática (Risaralda) y Riosucio (Caldas)”. En *Caracterización de los Sistemas De Producción Agropecuarios En el Departamento De Caldas*, Módulo II. Colombia: CORPOICA - Regional Nueve.
- Gamboa-Porras, J., & Marín-Méndez, W. (2012). Phenology, production and starch content of mango trees in Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 23(1), 81–91.
- Gandolfo, W. (2008). *Factores Ecofisiológicos Relacionados con el Crecimiento Vegetativo, Floración y Desarrollo del Fruto del Aguacate* (tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- García, D., Viloria-Matos, A., Belen, D., & Moreno-Alvarez, M. (2003). Características físico-químicas y composición de ácidos grasos del aceite crudo extraído de residuos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Grasas y aceites*, 54(3), 259–263.
- García, M., & García, H. (2001). *Manejo cosecha y postcosecha de mora, lulo y tomate de árbol*. Bogotá, Colombia: CORPOICA.

- García, P. (2012). *Elaboración de un paquete tecnológico para productores, en manejo cosecha y poscosecha de mora (Rubus glaucus Benth) aplicando ingeniería de calidad y determinación de las características nutraceuticas de la fruta en precosecha, en el municipio de Silvania – Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- García-Bacallao, L., García-Gómez, L., Rojo-Domínguez, M., & Sánchez-García, E. (2001). Plantas con propiedades antioxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 20(3), 231-235.
- Gargaglionea, V., Peri, P., & Rubioc, G. (2013). Partición diferencial de nutrientes en árboles de *Nothofagus antarctica* creciendo en un gradiente de calidades de sitio en Patagonia Sur. *Bosque (Valdivia)*, 34(3), 291–302. doi:10.4067/S0717-92002013000300005
- Gisleröd, R., Selmer-Olsen, R., & Mortensen, M. (1987). The effect of air humidity on nutrient uptake of some greenhouse plants. *Plant and Soil*, 102(2), 193–196. doi:10.1007/BF02370702
- González, M. (2010). Conservación de mora, uvilla y frutilla mediante la utilización del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) (tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Graber, U. (1997). Fenología de los cultivos: mora de Castilla (*Rubus glaucus* B.) y babaco (*Carica pentagona* H). Granja Experimental Píllaro (Ecuador). 22 p.
- Grijalba, C., Calderón, L., & Pérez, M. (2010). Rendimiento y calidad de la fruta en mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), con y sin espinas, cultivada en campo abierto en Cajicá (Cundinamarca, Colombia). *Universidad Militar Nueva Granada*, 6 (1), 24-41.
- Hernández-Gil, R., & Bautista, D. (1977). Crecimiento y cambios bioquímicos durante el proceso de maduración de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *Rev. Agron. Trop.* 27(2), 225-233.
- Hossain, D., Musa, M., Talib, J., & Jol, H. (2010). Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Levels on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and Photosynthesis under Nutrient Solution. *Journal of Agricultural Science*, 2 (2), 49-57.

- Hoyos, D., Morales, J., Chavarría, H., Montoya, A., Correa, G., & Jaramillo, S. (2012). Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín*, 65 (1), 6389-6398.
- Hunt, R. (1978). Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- Jaramillo, B., Torres, M., Pinzón, M., & Franco, G. (2000). Caracterización y cuantificación de azúcares y ácidos no volátiles en tres materiales de mora (*Rubus glaucus*, Bent) por cromatografía líquida de alta eficiencia. Frutales de clima frío moderado: memorias. 3. *Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Manizales (Colombia)*, 330-335.
- Jiménez, D., Cock, J., Satizabal, H., Barreto, M., Perez, A., Jarvis, A., & Van Dame, P. (2009). Analysis of Andean black berry (*Rubus glaucus*) production models obtained by means of artificial neural network sex plotting information collected by small-scale growers in Colombia and publicly available meteorological data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 69, 198-208.
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. EN: Fisiología Vegetal. FA Squeo, L. Cardemil. La Serena, Chile. Ediciones Universidad de La Serena. Cap, 15.
- Jurado, R. (2012). Evaluación del ciclo fenológico y caracterización de frutos de tres materiales de guayaba (*Psidium guajava* L.) en tres zonas de la provincia de Vélez (Santander) (tesis de Pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Kays, S. (2004). Postharvest biology. ExonPress. Athens, Georgia.
- Kershaw, C. (1991). The effect of temperature on the rate of shoot development in the raspberry (*Rubus idealus* L.) cultivar Autumn Bliss. PhD diss. Wye College, Univ. London.
- Laguado, N., Marín, M., Arenas de Moreno, L., Araujo, F., Castro de Rincón, C., & Rincón, A. (2002). Crecimiento del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo Criolla Roja. *Rev. Fac. Agron.* 19(4), 273-283.
- Lambers, H., & Pons, T. (2008). Plant Water Relations. In *Plant Physiological Ecology* (pp. 163–223). Springer New York. Recuperado el 2 de Diciembre del 2014, disponible en [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-78341-3\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-78341-3_5)

- Lobo, M. (2006). Recursos Genéticos Y Mejoramiento De Frutales Andinos: Una Visión Conceptual. *Revista de la corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA) ciencia y tecnología agropecuaria*, 7 (2), 40-54.
- Loomis, R., & Connor, D. (2002). Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. 591 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Lüttge, U., & Scarano, F. (2004). Ecophysiology. *Revista Brasil. Bot*, 27, 1-10.
- Machado, B., Prioli, R., Gatti, B., & Cardoso, M. (2006). Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum - Agronomy*, 28(2), 155–164.
- Manes, F., Seuferts, G., & Vitalet, M. (1997). Ecophysiological studies of mediterranean plant species at the Castel porziano Estate. *Atmospheric Environment*, 31, 51-60.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich. Fla. USA. 543 p
- Martínez, A., & Beltrán, O. (2007). Manual del cultivo de la mora de castilla (*Rubus glaucus* B.). Primera edición. Ambato, Ecuador: INIAP.
- Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F., & Islas-Rodríguez, L. (2013). La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 19(3), 459–468. doi:10.5154/r.rchscfa.2012.03.016
- Mc Alpine, K., & Jesson, L. (2007). Biomass allocation, shade tolerance and seedling survival of the invasive species *Berberis darwinii* (Darwin's barberry). *New Zealand Journal of Ecology*, 31 (1), 1-12.
- Mejía, P. (2011). *Caracterización morfoagronómica de genotipos de mora (Rubus glaucus Benth) en la granja experimental Tumbaco – INIAP* (tesis de Pregrado). Escuela politécnica del ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Arch. latinoam. nutr*, 54(2), 149–154.
- Melgarejo, M. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Primera edición. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Montalvo, D. (2010). *Evaluación de la calidad poscosecha de las accesiones seleccionadas de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth) provenientes de las provincias de*

- Tungurahua y Bolívar* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Montes, C., Villegas, C., Lozano, E., & Garzón, D. (2009). Flowering and fructification phenology in *Macadamia integrifolia*. *Acta Agronómica, Universidad Nacional de Colombia*, 58(4), 277–284.
- Morales, M., Hernández, M., Cabezas, M., Barrera, J., & Martínez, O. (2001). Caracterización de la maduración del fruto de Pina Nativa (*Ananas comosus* L. Merrill) Cv. India. *Agronomía Colombiana*, 18 (1-2), 7-13.
- Moreno, L., Crespo, S., Pérez, W., & Melgarejo, L. (2010). Pruebas bioquímicas como herramientas para estudios en fisiología. En L. Melgarejo (coord), *Experimentos en fisiología vegetal*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Moreno, M., Villarreal, D., Lagos, T. C., Ordoñez, H., & Criollo, H. (2012). CARACTERIZACIÓN “IN SITU” DE GENOTIPOS SILVESTRES Y CULTIVADOS DE MORA *Rubus* spp EN ELMUNICIPIO DE PASTO. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2) 109-128. Recuperado el 27 de Noviembre del 2014, disponible en <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/19>
- Mortensen, M. (1986). Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae*, 29, 301-307.
- Mortensen, M. (2000). Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. *Scientia Horticulturae*, 86(4), 299–310. doi:10.1016/S0304-4238(00)00155-2
- Orduz-Rodríguez, J., Monroy, H., & Fischer, G. (2010). Comportamiento fenológico de la mandarina “Arrayana” en el piedemonte del Meta, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 28 (1), 63-70. Recuperado el 23 de Noviembre del 2014, disponible en <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=180315651007>
- Pereira, C. (2013). Utilización de imágenes digitales para medición del diámetro de frutos de Mandarina (*Citrus reticulata*) en crecimiento. *Revista Ciencia Y Tecnología*, 6(1), 1–9.
- Palencia, P., Martínez, F., Medina, J., & López-Medina, J. (2013). Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*, 31(1), 93–99. doi:10.1590/S0102-05362013000100015

- Parry, M., Flexas, J., & Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147(3), 211–226. doi:10.1111/j.1744-7348.2005.00032.x
- Pentón, G., Martín, G., Oropesa, K., Noda, Y., & Alonso, F. (2012). Crecimiento de *Morus alba* L. durante la etapa de establecimiento, a partir del trasplante de posturas. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 139–151.
- Pérez, J., García, E., Enríquez, J., Quero, A., Pérez, J., & Hernández, A. (2012). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” • (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(3), 447 a 458.
- Pérez-Barraza, M., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J., & Urías-López, M. (2009). Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango “Ataulfo” con reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(2), 183–188.
- Perry, K., Wehner, T., & Johnson, G. (1986). Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. *HortScience*, 21(3), 419–423.
- Piña, M., & Arboleda, E. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1), 61–66.
- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007) Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1): 83-95.
- Plan Frutícola Nacional. (2006). Desarrollo de la fruticultura en Nariño. Pasto, Colombia, 70.
- Posada, F., & Cardozo, M. (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. ‘Quindío’) cultivados a campo abierto. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 62(1), 4815-4822.
- Qadir, G., Cheema, M., Fayyaz-ul-Hassan, Ashraf, M., & Wahid, M. (2007). Relationship of heat units accumulation and fatty acid composition in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan)*, 44 (1), 24-29. Recuperado el 23 de Noviembre del 2014, disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2007001182>

- Rawson, M., Begg, E., & Woodward, G. (1977). The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. *Planta*, 134(1), 5–10. doi:10.1007/BF00390086
- Reyes, J., Gutiérrez, J., García, E., Carrillo, J., Aguilar, J., & Gaytán, E. (2009). Desarrollo y calidad de inflorescencias de *Antirrhinum majus* L. cultivados en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15 (2), 57-60.
- Ritchie, T., & Nesmith, S. (1991). Temperature and Crop Development. In *Agronomy Monograph*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Recuperado el 12 de Noviembre del 2014, disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/agronomymonograph/monograph/lingplantan/5>
- Rivera, R., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., & Jiménez, P. (2005). COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CLOROFILA-a MEDIANTE LOS MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICO Y FLUOROMÉTRICO. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 95–103.
- Rodríguez, C. (2009). *Fenología de Quercus ilex L. y Quercus suber L. en una dehesa del centro peninsular* (tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Rodríguez, L. (2001). Evaluación del efecto de la densidad de población sobre variables fisiológicas y componentes de rendimiento en *Solanum tuberosum* L. Variedad Parda pastusa en dos localidades (tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4 (1), 97-108.
- Rodríguez, M., Arjona, E., & Campos, A. (2006). Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 54-61.
- Rodríguez, P., & Yandar, S. (2010). *Rendimiento de la mora (Rubus glaucus Benth) utilizada como franja protectora en un Sistema productivo en el altiplano de Pasto* (tesis de Pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

- Rodríguez-Landero, A., Franco-Mora, O., Morales-Rosales, E., Pérez-López, D., & Castañeda-Vildózola, Á. (2012). Efecto del 1-MCP en la vida poscosecha de *Lilium* spp. fertilizado foliarmente con calcio y boro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1623–1628.
- Román, F. (2003). Concentración de reguladores del desarrollo vegetal inducida por hongos endomicorrízicos en dos cultivares de Chile (*Capsicum annuum* L.) (tesis Doctoral). Universidad de Colima, Tecomán, México.
- Romoleroux, K., & Nilgaard, B. (1996). *Flora of Ecuador: 79. Rosaceae; 81. Connaraceae*. Department of Systematic Botany, University of Goteborg.
- Roveda, G., Cabra, L., Ramírez, M., & Peñaranda, A. (2007). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la aclimatación y endurecimiento de microplántulas de mora (*Rubus glaucus*). *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8, 28-36.
- Ruiz, M., Urueña del Valle, M., & Martínez, J. (2009). Situación Actual y Perspectivas del Mercado de la Mora. USAID, Programa MIDAS / Acción Social. 16.
- Ryugo, K. (1988). Fruit culture: its science and art., 344 pp.
- Saavedra, B. (2005). *Efecto del 2, 4 D 2, 4 DP y 3, 5, 6 TPA, sobre el tamaño final, productividad y calidad de los frutos en naranjo Citrus sinensis (L.) Osbeck) cv. Lanelate* (tesis de Pregrado). Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Sánchez, M. (1992). *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración*. Geoforma Ediciones.
- Sanchez-Olate, M., Zapata, J., Rios, D., Pereira, G., & Escobar, R. (2003). Efecto del fotoperíodo en el desarrollo de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* cultivadas en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 24(2), 23–28. doi:10.4067/S0717-92002003000200003
- Santana, N., Pelacani, C., De Souza, & Crepaldi, I. (2006). CRECIMIENTO INICIAL DE PLANTAS DE LICURI (*Syagrus coronata* (MART.) BECC.) EN DIFERENTES NIVELES DE LUMINOSIDAD. *Revista Árbore*, 30(3), 351–357.
- Santos, M. (2010). *Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del Departamento de Cundinamarca* (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Shibuya, T., Terakura, R., Kitaya, Y., & Kiyota, M. (2006). Effects of Low Relative Humidity and Illumination on Leaf Water Status of Cucumber Seedlings and Growth of Harvested Cuttings. *HortScience*, 41(2), 410–413.
- Solarte, M., Moreno, L., & Melgarejo, L. (2010). Fotosíntesis y pigmentos vegetales. En L. Melgarejo (coord), Experimentos en fisiología vegetal. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Solarte, M. (2013). Primer informe proyecto: Caracterización ecofisiologica del cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth) en el corregimiento El Encano, Pasto, Nariño. Acuerdo 150 agosto 27 de 2012. Universidad de Nariño vicerrectoria de investigaciones.
- Sora, D., Fischer, G., & Flórez, R. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 306-316.
- Stenzel, N., Neves, C., Marur, C., Scholz, M., & Gomes, J. (2006). Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of “Folha Murcha” orange trees. *Scientia Agricola*, 63(3), 219–225. doi:10.1590/S0103-90162006000300002
- Urban, L., Léchaudel, M., & Lu, P. (2004). Effect of fruit load and girdling on leaf photosynthesis in *Mangifera indica* L. *Journal of Experimental Botany*, 55(405), 2075–2085. doi:10.1093/jxb/erh220
- Valero, C., & Ruiz, M. (1998). Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas. *Fruticultura profesional*, 95, 38-45.
- Valladares, F. (2005). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 191-227 p. Recuperado el 2 de Diciembre, disponible en <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7942>
- Villar, R., Ruiz, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 191-227.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P., & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical*, 56(1), 21–42.

- Wilson-García, C., Zavaleta-Mancera, H., López-Delgado, H., & Hernández-Garay, A. (2008). La citocinina BAP retrasa senescencia, aumenta antioxidantes, proteína y crecimiento en el pasto ovinillo (*Dactylis glomerata* L.). *Agrociencia*, 42(7), 799–806.
- Yanniccari, M., Istilart, C., Giménez, D., Acciaresi, H., & Castro, A. (2012). Efecto del glifosato sobre el crecimiento y acumulación de azúcares libres en dos biotipos de *Lolium perenne* de distinta sensibilidad al herbicida. *Planta Daninha*, 30(1), 155–164. doi:10.1590/S0100-83582012000100018

## 11 ANEXOS

Anexo A. Ecuaciones de regresión lineal y valores de correlación ( $R^2$ ) del cultivar de Motilón (MT) y San José (SJ), para el cálculo de área foliar (AF) y peso seco foliar (PS) de ramas de *Rubus glaucus*, considerando relaciones con eje transversal (LHH); eje longitudinal (LVH) y el producto de los ejes. Ejes expresados en *cm*, peso seco foliar en *gr* y área foliar en *cm*<sup>2</sup>.

| Localidad | Relación       | Ecuación               | $R^2$  | P    |
|-----------|----------------|------------------------|--------|------|
| MT        | LHH – AF       | $y = 6,9875x - 51,534$ | 0,8355 | 0,00 |
| MT        | LVH – AF       | $y = 10,438x - 55,317$ | 0,7864 | 0,00 |
| MT        | LHHxLVH – AF   | $y = 0,3368x - 3,1807$ | 0,8394 | 0,37 |
| MT        | LHH – PS       | $y = 0,0669x - 0,5668$ | 0,8152 | 0,00 |
| MT        | LVH – PS       | $y = 0,096x - 0,5627$  | 0,8031 | 0,00 |
| MT        | LHHxLVH – PS   | $y = 0,0033x - 0,1074$ | 0,8317 | 0,00 |
| MT        | LHH – PF       | $y = 0,1938x - 1,5348$ | 0,8129 | 0,00 |
| MT        | LVH – PF       | $y = 0,2748x - 1,4889$ | 0,771  | 0,00 |
| MT        | LHHxLVH – PF   | $y = 0,0096x - 0,2169$ | 0,8567 | 0,02 |
| SJ        | LHH – AF       | $y = 7,1764x - 59,541$ | 0,8718 | 0,00 |
| SJ        | LVH – AF       | $y = 8,7673x - 40,116$ | 0,663  | 0,00 |
| SJ        | LHH x LVH – AF | $y = 0,3577x - 9,2722$ | 0,8774 | 0,01 |
| SJ        | LHH – PS       | $y = 0,0617x - 0,4744$ | 0,7817 | 0,00 |
| SJ        | LVH – PS       | $y = 0,0848x - 0,3899$ | 0,6537 | 0,00 |
| SJ        | LHH x LVH – PS | $y = 0,0032x - 0,0577$ | 0,7458 | 0,24 |
| SJ        | LHH – PF       | $y = 0,1634x - 1,306$  | 0,8726 | 0,00 |
| SJ        | LVH – PF       | $y = 0,2153x - 1,009$  | 0,7354 | 0,00 |
| SJ        | LHH x LVH – PF | $y = 0,0081x - 0,1493$ | 0,8798 | 0,06 |

Anexo B. Ecuaciones de regresión lineal y valores de correlación ( $R^2$ ), para el cálculo de peso fresco (PF) y peso seco (PS) de ramas de *Rubus glaucus* de San José y Motilón, considerando relaciones con longitud (L) y diámetro basal (DB). Pesos expresados en g, longitud en cm y diámetro basal en mm.

| Relación              | Ecuación               | $R^2$  | P    |
|-----------------------|------------------------|--------|------|
| L – PF (Rama hembra)  | $y = 0,4034x - 22,216$ | 0,7018 | 0,01 |
| L – PS (Rama hembra)  | $y = 0,1481x - 9,2843$ | 0,6784 | 0,01 |
| DB – PF (Rama hembra) | $y = 9,7542x - 38,256$ | 0,7516 | 0,04 |
| DB – PS (Rama hembra) | $y = 1,8786x - 2,9606$ | 0,3104 | 0,72 |
| L – PF (Rama macho)   | $y = 0,4643x - 14,531$ | 0,5742 | 0,21 |
| L – PS (Rama macho)   | $y = 0,1894x - 11,635$ | 0,6601 | 0,01 |
| DB – PF (Rama macho)  | $y = 11,57x - 51,724$  | 0,6032 | 0,05 |
| DB – PS (Rama macho)  | $y = 3,7079x - 17,524$ | 0,4106 | 0,14 |
| L – PF (Rama látigo)  | $y = 0,3172x - 17,987$ | 0,7357 | 0,01 |
| L – PS (Rama látigo)  | $y = 0,1233x - 7,0588$ | 0,6747 | 0,02 |
| DB – PF (Rama látigo) | $y = 6,1384x - 6,4174$ | 0,391  | 0,71 |
| DB – PS (Rama látigo) | $y = 2,3214x - 0,289$  | 0,289  | 0,86 |

Anexo C. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: número de días de las distintas etapas fenológica evaluadas sobre *Rubus glaucus*.

|                   | SS      | GL  | MS      | F       | P      |
|-------------------|---------|-----|---------|---------|--------|
| Localidad         | 12.4    | 1   | 12.41   | 1.85    | 0.1745 |
| Etapas fenológica | 62954.9 | 7   | 8993.56 | 1339.56 | 0.0000 |
| Interacción       | 56.8    | 7   | 8.12    | 1.21    | 0.049  |
| Error             | 4082.0  | 608 | 6.71    |         |        |
| Total             | 67106.1 | 623 |         |         |        |

Anexo D. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Grados-Día acumulados de las distintas etapas fenológicas evaluadas sobre *Rubus glaucus*.

|                   | SS      | GL  | MS     | F      | P      |
|-------------------|---------|-----|--------|--------|--------|
| Localidad         | 22      | 1   | 22     | 0.02   | 0.5141 |
| Etapas fenológica | 6205158 | 7   | 886451 | 855.73 | 0.0000 |
| Interaccion       | 2518    | 7   | 360    | 0.35   | 0.048  |
| Error             | 629824  | 608 | 1036   |        |        |
| Total             | 6837522 | 623 |        |        |        |

Anexo E. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Área foliar total de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*.

| Prueba no paramétrica de dos factores, Friedman para Área foliar total = Tipo de rama – Localidad |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Factor = Tipo de rama                                                                             | Estadístico Friedman = 3,0  |
|                                                                                                   | P-valor = 0,22              |
|                                                                                                   | Grados de libertad = 2      |
| Factor = Localidad                                                                                | Estadístico Friedman = 0,33 |
|                                                                                                   | P-valor = 0,56              |
|                                                                                                   | Grados de libertad = 1      |

Anexo F. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Peso seco foliar total de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*.

| Prueba no paramétrica de dos factores, Friedman para Peso seco foliar = Tipo de rama – Localidad |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Factor = Tipo de rama                                                                            | Estadístico Friedman = 1,0 |
|                                                                                                  | P-valor = 0,6              |
|                                                                                                  | Grados de libertad = 2     |
| Factor = Localidad                                                                               | Estadístico Friedman = 3,0 |
|                                                                                                  | P-valor = 0,08             |
|                                                                                                  | Grados de libertad = 1     |

Anexo G. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Área foliar específica de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*.

| Prueba no paramétrica de dos factores, Friedman para Área foliar específica = Tipo de rama – Localidad |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Factor = Tipo de rama                                                                                  | Estadístico Friedman = 3,0  |
|                                                                                                        | P-valor = 0,23              |
|                                                                                                        | Grados de libertad = 2      |
| Factor = Localidad                                                                                     | Estadístico Friedman = 0,33 |
|                                                                                                        | P-valor = 0,5               |
|                                                                                                        | Grados de libertad = 1      |

Anexo H. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Peso seco de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*.

|                                                                                           |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Prueba no paramétrica de dos factores, Friedman para Peso seco = Tipo de rama – Localidad |                             |
| Factor = Tipo de rama                                                                     | Estadístico Friedman = 4,0  |
|                                                                                           | P-valor = 0,13              |
|                                                                                           | Grados de libertad = 2      |
| Factor = Localidad                                                                        | Estadístico Friedman = 0,33 |
|                                                                                           | P-valor = 0,6               |
|                                                                                           | Grados de libertad = 1      |

Anexo I. Análisis de varianza de dos factores, prueba no paramétrica, para: Producción de ramas nuevas de cada tipo de rama de *Rubus glaucus*.

|                                                                                              |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Prueba no paramétrica de dos factores, Friedman para Ramas nuevas = Tipo de rama – Localidad |                             |
| Factor = Tipo de rama                                                                        | Estadístico Friedman = 3,0  |
|                                                                                              | P-valor = 0,22              |
|                                                                                              | Grados de libertad = 2      |
| Factor = Localidad                                                                           | Estadístico Friedman = 0,33 |
|                                                                                              | P-valor = 0,5               |
|                                                                                              | Grados de libertad = 1      |

Anexo J. Análisis de varianza de dos factores, Número de frutos/planta en las etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 23181,0   | 3         | 7727,01   | 10,56    | 0,0001   |
| Localidad          | 7276,5    | 1         | 7276,51   | 9,94     | 0,0035   |
| Interacción        | 1355,5    | 3         | 451,82    | 0,62     | 0,6089   |
| Error              | 23423,5   | 32        | 731,98    |          |          |
| Total              | 55236,5   | 39        |           |          |          |

Anexo K. Análisis de varianza de dos factores, Gramos-frutos/planta en las etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 92136     | 3         | 30712     | 7,50     | 0,0006   |
| Localidad          | 100685    | 1         | 100685    | 24,57    | 0,0000   |
| Interacción        | 13856     | 3         | 4619      | 1,13     | 0,3527   |
| Error              | 131111    | 32        | 4097      |          |          |
| Total              | 337788    | 39        |           |          |          |

Anexo L. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila a en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 2,75069   | 7         | 0,39296   | 24,83    | 0,0000   |
| Localidad          | 1,30033   | 1         | 1,30033   | 82,17    | 0,0000   |
| Interacción        | 0,45856   | 7         | 0,06551   | 4,14     | 0,0024   |
| Error              | 0,50640   | 32        | 0,01583   |          |          |
| Total              | 5,01599   | 47        |           |          |          |

Anexo M. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila b en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 0,36377   | 7         | 0,05197   | 9,61     | 0,0000   |
| Localidad          | 0,25816   | 1         | 0,25816   | 47,74    | 0,0000   |
| Interacción        | 0,04931   | 7         | 0,00704   | 1,30     | 0,2809   |
| Error              | 0,17306   | 32        | 0,000541  |          |          |
| Total              | 0,84430   | 47        |           |          |          |

Anexo N. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de clorofila total en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                   | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad         | 4.1126    | 1         | 4.1125    | 95.75    | 0.00     |
| Etapas fenológica | 9.4757    | 7         | 1.3536    | 31.52    | 0.00     |
| Interacción       | 1.0219    | 7         | 0.1459    | 3.40     | 0.01     |
| Error             | 1.3745    | 32        | 0.0429    |          |          |
| Total             | 15.9846   | 47        |           |          |          |

Anexo O. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de carotenoides en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus* en las localidades de Motilón y San José (ANOVA paramétrica).

|                   | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad         | 0.72275   | 1         | 0.7227    | 63.41    | 0.0467   |
| Etapas fenológica | 0.9696    | 7         | 0.1385    | 12.15    | 0.0356   |
| Interacción       | 0.1733    | 7         | 0.0247    | 2.17     | 0.02     |
| Error             | 0.3647    | 32        | 0.0114    |          |          |
| Total             | 2.2305    | 47        |           |          |          |

Anexo P. Análisis de varianza de dos factores, % de Humedad en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                   | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad         | 0.53      | 1         | 0.527     | 0.07     | 0.7920   |
| Etapas fenológica | 907.85    | 3         | 302.617   | 40.10    | 0.0000   |
| Interacción       | 37.76     | 3         | 12.586    | 1.67     | 0.1763   |
| Error             | 1147.08   | 152       | 7.547     |          |          |
| Total             | 2093.22   | 159       |           |          |          |

Anexo Q. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido oxálico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 5.0245    | 3         | 1.6748    | 8.78     | 0.0013   |
| Localidad          | 0.9647    | 1         | 0.9647    | 5.05     | 0.0400   |
| Interacción        | 4.9144    | 3         | 1.6381    | 8.58     | 0.0015   |
| Error              | 2.8629    | 15        | 0.1908    |          |          |
| Total              |           | 22        |           |          |          |

Anexo R. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido málico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 62179,2   | 3         | 20726,4   | 8,47     | 0,0016   |
| Localidad          | 3732,2    | 1         | 3732,2    | 1,52     | 0,2359   |
| Interacción        | 66988,9   | 3         | 22329,6   | 9,12     | 0,0011   |
| Error              | 36715,8   | 15        | 2447,7    |          |          |
| Total              |           | 22        |           |          |          |

Anexo S. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido cítrico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                    | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapas fenológicas | 1,80452   | 3         | 0,60151   | 6,80     | 0,0041   |
| Localidad          | 0,06006   | 1         | 0,06006   | 0,68     | 0,4229   |
| Interacción        | 2,70254   | 3         | 0,90085   | 10,18    | 0,0007   |
| Error              | 1,32749   | 15        | 0,08850   |          |          |
| Total              |           | 22        |           |          |          |

Anexo T. Análisis de varianza de dos factores, Contenido de ácido ascórbico en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                  | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Etapa fenológica | 0,71580   | 3         | 0,23860   | 2,00     | 0,1540   |
| Localidad        | 0,36639   | 1         | 0,36639   | 3,08     | 0,0985   |
| Interacción      | 4,59085   | 3         | 1,53028   | 12,85    | 0,0002   |
| Error            | 1,90487   | 16        | 0,11905   |          |          |
| Total            | 7,57791   | 29        |           |          |          |

Anexo U. Análisis de varianza de dos factores, pH en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                  | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad        | 0.00120   | 1         | 0.00120   | 3.96     | 0.0640   |
| Etapa fenológica | 1.77555   | 3         | 0.59185   | 1945.80  | 0.0000   |
| Interacción      | 0.00545   | 3         | 0.00182   | 5.97     | 0.063    |
| Error            | 0.00487   | 16        | 0.00030   |          |          |
| Total            | 1.78701   | 23        |           |          |          |

Anexo V. Análisis de varianza de dos factores, Acidez total titulable en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                  | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad        | 0.0392    | 1         | 0.03920   | 8.33     | 0.0108   |
| Etapa fenológica | 12.4936   | 3         | 4.16454   | 884.50   | 0.0000   |
| Interacción      | 0.0576    | 3         | 0.01920   | 4.08     | 0.0250   |
| Error            | 0.0753    | 16        | 0.00471   |          |          |
| Total            | 12.6658   | 23        |           |          |          |

Anexo W. Análisis de varianza de dos factores, Sólidos solubles totales en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                   | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad         | 0.0434    | 1         | 0.0434    | 2.62     | 0.12     |
| Etapas fenológica | 36.8455   | 3         | 12.2818   | 740.99   | 0.00     |
| Interaccion       | 0.2635    | 3         | 0.0878    | 5.30     | 0.10     |
| Error             | 0.2652    | 16        | 0.0166    |          |          |
| Total             | 37.4176   | 23        |           |          |          |

Anexo X. Análisis de varianza de dos factores, Carbohidratos totales en las distintas etapas fenológicas: fruto verde, fruto pintón, fruto rojo y fruto morado de *Rubus glaucus*-Localidad (ANOVA paramétrica).

|                   | <b>SS</b> | <b>GL</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Localidad         | 0.4817    | 1         | 0.48167   | 8.43     | 0.0103   |
| Etapas fenológica | 8.1513    | 3         | 2.71709   | 47.58    | 0.0000   |
| Interacción       | 0.4692    | 3         | 0.15641   | 2.74     | 0.500    |
| Error             | 0.9137    | 16        | 0.05710   |          |          |
| Total             | 10.0158   | 23        |           |          |          |