

**Establecimiento de una metodología para calcular el índice área foliar del
duraznero cv Jarillo, mediante fotos hemisféricas en la provincia de
Pamplona**

Domingo Roberto Cárcamo Jiménez

Universidad de Pamplona
Facultad de Ciencias Agrarias
Ingeniería Agronómica
Pamplona
2016.

Establecimiento de una metodología para calcular el índice área foliar del duraznero cv Amarillo Jarillo, mediante fotos hemisféricas en la provincia de Pamplona

Domingo Roberto Cárcamo Jiménez

Cód.: 19769563.

Proyecto presentado como requisito para obtener el título de ingeniero agrónomo

Director

Enrique Quevedo García

Msc ciencias agrarias área fisiología de cultivos

Profesor asociado a la Universidad de Pamplona

Universidad de pamplona

Facultad de Ciencias agrarias

Ingeniería Agronómica

Pamplona

2016.

Dedicatoria

Inicialmente deseo dedicarle este trabajo de grado a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, capacidad que tenemos todos, es satisfactorio saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar una meta.

A Dios por ser siempre ese sentimiento de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de vida que esta próxima a culminar espero ser digno por tan valioso esfuerzo.

A mis padres, Mama (Fernanda Jiménez), Papa (Domingo Cárcamo q.e.p.d.) que desde el cielo me guía y me protege para que siga por el buen camino y de un buen ejemplo de vida para mis sucesores.

A mi hijo Mateo, que es una de las razones por el cual me motiva para luchar y alcanzar las meta trazadas.

Agradecimientos

A todas las personas que de uno u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a mi tutor Enrique Quevedo García a la profesora Gladis Montañez que se esforzaron por darme lo mejor de sus enseñanzas.

A Dios por brindarme apoyo moral y espiritual para llegar a la meta investigativa.

A la Universidad de Pamplona (UP) por abrir sus puertas para mi formación profesional.

Resumen

La siguiente investigación centro su trabajo en el cultivo de duraznero variedad Amarillo Jarillo ubicado en la provincia de Pamplona, donde se estableció un modelo indirecto (no destructivo) para calcular el índice de área foliar (IAF) usando fotos hemisféricas analizadas en un software específico (GLA) para el respectivo cálculo. Se obtuvieron valores del IAF óptimos del duraznero con el uso de esta metodología concluyendo que este método indirecto es recomendable para calcular el IAF en este cultivo, este método tuvo como ventaja su bajo costo de implementación, una mayor precisión en el cálculo del IAF respecto a los métodos destructivos, consistencia frente a otros métodos destructivos y eficacia en el uso del tiempo. Como objetivo específico se comparó el método indirecto ya mencionado con uno directo (destructivo) de regresión lineal con el cual se halló el IAF del duraznero en la misma localidad. Se determinó que los dos métodos son aplicables en este cultivo pero se encontraron diferencias significativas del IAF respecto a los días después de defoliación (DDD). Se concluyó que el método indirecto (no destructivo) es apropiado para determinar el índice de área foliar en cultivos de gran importancia económica en la provincia de Pamplona y posteriormente establecer el manejo agronómico del cultivo de acuerdo a los resultados obtenidos con la metodología aplicada.

Palabras claves: Duraznero, fotos hemisféricas, directo, indirecto, índice de área foliar, días después de defoliación, estadios, dosel.

Abstract

The following research center its work in growing peach variety Yellow Jarillo located in the province of Pamplona, where a (non-destructive) indirect model was established to calculate the leaf area index (LAI) using hemispheric photos analyzed in a specific software (GLA) for this calculation. IAF optimum values were obtained peach with the use of this methodology conclude that this indirect method is recommended to calculate the IAF in this culture, this method had the advantage of its low cost of implementation, greater accuracy in calculating the IAF about destructive methods, consistency against other destructive methods and effective use of time.

Specifically target the indirect method mentioned direct one (destructive) linear regression which the IAF peach was found in the same locality was compared. It was determined that the two methods are applicable in this crop but significant differences were found regarding IAF day after defoliation (DDD). It was concluded that the (non-destructive) indirect method is appropriate for determining the leaf area index in economically important crops in the province of Pamplona and then set the agronomic crop management according to the results obtained with the methodology applied.

Keywords: Peach, hemispheric photos, direct, indirect, leaf area index, days after defoliation, stadiums, and canopy.

Contenido

Capítulo 1	1
1 Introducción	1
2 Problema	3
2.1 Planteamiento y descripción del problema	3
3 Justificación.....	4
4 Delimitación	6
5 Objetivos.....	7
5.1 Objetivo general	7
5.2 Objetivos específicos	7
Capítulo 2	8
6 Marco de referencia.....	8
6.1 Antecedentes	8
6.2 Marco contextual.....	12
6.2.1 Departamento de Norte de Santander.....	12
6.2.2 La Provincia de Pamplona	13
6.3 Marco teórico.....	15
6.3.1 Variedad Jarillo	15
6.3.2 Tipificación de fincas con cultivos de duraznero en Norte De Santander.....	15
6.3.3 Ecofisiología.....	16
6.3.4 Manejo del cultivo.....	17
6.3.5 Índice de área foliar (IAF).....	17
6.3.6 Estructura del dosel	18
6.3.7 Desarrollo foliar	18
6.3.8 Fotos hemisféricas	18
Capítulo 3	20
7 Metodología.....	20
7.1 Diseño metodológico.....	20
7.1.1 Procedimiento para la toma de fotografías hemisféricas.....	22
7.1.2 Adquisición de la imagen.....	23
7.1.3 Clasificación de imágenes.....	23
7.1.4 Uso del Software Gap Light Analyzer (GLA), para calcular índice de área folia (IAF) en el duraznero variedad Amarillo Jarillo	24
7.1.5 Selección del método directo (destrutivo) para comparar según criterio el índice de área foliar calculado mediante el Software Gap Light Analyzer (GLA).	25
8.1 Crecimiento del índice de área foliar (IAF) en cultivo de duraznero	28
8.2 Valores promedios de Índice de área foliar (IAF) de los 13 árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo.....	29
8.3 Comparación de los dos métodos (directo e indirecto) para estimar el índice de área foliar (IAF) en duraznero Variedad Jarillo.....	30
8.3.1 Aplicación de métodos no paramétricos.....	30

8.3.2 Contraste de hipótesis	30
8.3.3 Método no paramétrico Kruskal-Wallis de una vía no paramétrica ANOVA para el índice de área foliar (IAF) por método	31
9 Conclusiones	34
10 Recomendaciones	35
11 Referencias	36
12 Anexos	38

Lista de figuras

- Figura 1.* Ubicación geográfica del departamento Norte de santander, el departamento de Norte de Santander limita por el norte y el este con Venezuela; por el sur con Boyacá y por oeste con Santander y Cesar. Fuente: (Salamanca ,2010). 13
- Figura 2.* Ubicación del lote en la finca las delicias y distribución de los 13 árboles de estudio, municipio de Pamplona, norte de santander. recuperado de https://intl/es_es/earth/ [consultado: Agosto 28 del 2015 /16:32]..... 14
- Figura 3.* Estadio principal 3. Crecimiento longitudinal de los brotes terminales 18 ddd (días después de la defoliación). Fuente: (Quevedo, 2011).21
- Figura 4.* Estadio principal 4. Floración 32 DDD (días después de defoliación). Fuente: Propia21
- Figura 5.* estadio principal 8. Maduración del fruto 170 ddd (días después de la de defoliación). Fuente: Propia.....22
- Figura 6.* Cámara ajustada al trípode de forma horizontal hacia el dosel del árbol de duraznero. Fuente: Propia.23
- Figura 7.* Fotografía hemisférica con grado razonable de contraste, apta para el análisis. Fuente: Propia24
- Figura 8.* Fotografía hemisférica con una cantidad inadecuada de contraste, no apta para el análisis. Fuente: Propia24
- Figura 9.* Crecimiento del IAF desde los 33 DDD hasta los 170 DDD en árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo. **A.** Árbol 1 **B.** Árbol 2 **C.** Árbol 3 **D.** Árbol 4 **E.** Árbol 5 **F.** Árbol 6.....26
- Figura 10.* Crecimiento del IAF desde los 33 DDD hasta los 170 DDD en los árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo. **A.** Árbol 7 **B.** Árbol 8 **C.** Árbol 9 **D.** Árbol 10 **E.** Árbol 11 **F.** Árbol 12 **G.** Árbol 1327

Figura 11. Comportamiento del IAF promedio de los 13 árboles estudiados de duraznero
Variedad Amarillo Jarillo.....29

Figura 12. Medias de los índices de área foliar (IAF) de los dos métodos (directo e indirecto).
Diferencias significativas.32

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Prueba Kruskal- Wallis: variable dependiente IAF</i>	31
Tabla 2. <i>Prueba Kruskal- Wallis: Todas las comparaciones por parejas, IAF por método</i> ...	31
Tabla 3. <i>Comparación de los índices de área foliar (IAF) de los dos métodos aplicando ANOVA de un factor</i>	33

Lista de anexos

Anexo 1. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) de los dos métodos (directo e indirecto) con respecto a días después de defoliación (DDD)	38
Anexo 2. Prueba de normalidad a los datos de iaf de los dos métodos (directo e indirecto)...	38
Anexo 3. Prueba T- Student para dos muestras independiente.....	39
Anexo 4. Anova de un factor aplicado a datos de IAF	39
Anexo 5. Las comparaciones prueba de Tukey hsd todo por parejas prueba de IAF por método.....	40
Anexo 6. Medias de los dos métodos directo e indirecto	40

Capítulo 1

1 Introducción

Tal vez ningún frutal ha sido plantado tan acertadamente como el duraznero en la provincia de Pamplona. Las condiciones agroecológicas le han sido tan favorables, que se ha logrado la más alta productividad por planta en forma natural y una calidad del fruto excelente, y por ello merece una consideración de estudio. El duraznero es un frutal de zona templada, con poca resistencia al frío y su área de cultivo se extiende entre los 30 y 40 grados de latitud. En países de cuatro estaciones puede soportar sin morir hasta menos 20 grados centígrados. En general requiere de 400 a 800 horas-frío año; Requiere de luz, lo que le da calidad al fruto, pero ésta no debe ser demasiada, ya que el tronco y las ramas se pueden insolar, lo que hace que se deba encalar o realizar podas. La producción de durazno en este sector del país está caracterizado por una introducción del fruto sin ningún estudio técnico-científico y originado por intuición campesina de obreros del campo que trabajaron con este frutal en la zona del Estado Miranda en Venezuela, más conocido como la Colonia Tovar (Peñaranda, 2012).

Este durazno (CV Jarillo) proveniente de Venezuela (Colonia Tovar, Jarillo), se estableció con buena adaptación en el departamento de Norte de Santander especialmente en los municipios de Pamplona, Chitagá, Silos y de Cácuta. Las plantas son de gran tamaño debido a la distancia de plantación establecida de 6 a 7 m entre plantas y surcos (Miranda, Fischer, & Carranza, 2013).

De igual modo que los demás caducifolios, el duraznero cultivado bajo condiciones de clima templado presenta un periodo en el que su actividad vegetativa y metabólica se detiene parcial o totalmente, lo que generalmente ocurre desde mediados del verano hasta fines del invierno o principios de primavera. Este comportamiento se describe como un mecanismo de adaptación a las condiciones climáticas en especial a la temperatura, con el propósito de

protegerse del frío invernal extremo, que podría dañar tejidos e inclusive causar la muerte del árbol. Además, los árboles caducifolios pueden expresar la dormancia en diferentes épocas del año, como una medida de sobrevivencia para prevenir el crecimiento del árbol durante condiciones desfavorables (Carranza, Miranda, & Fischer, 2012).

La determinación del área foliar en el duraznero, se puede realizar por métodos directos e indirectos; cámaras digitales son usados en la actualidad como métodos indirectos de medición del área foliar (Eriksson, 2005). Agrónomos han demostrado la importancia del área foliar en la estimación de crecimiento vegetal, en la determinación de etapas fenológicas, en la estimación del potencial de rendimiento biológico y agronómico, en el cálculo del uso eficiente de la radiación solar, como también en el cálculo del uso eficiente del agua y de la nutrición mineral (Sonnentag, 2008). El mayor problema de las imágenes tomadas con cámara digital es el ángulo foliar, el cual en la mayoría de ocasiones no es totalmente plano, hecho que produce altos niveles de error procedimental (Craig-Macfanlace, 2007).

En la medida en que el método sea cuidadosamente probado y validado, permitirá utilizarse en diversas situaciones proporcionando facilidad para la obtención de datos exactos, confiables y repetitivos en el tiempo.

La presente investigación tiene como fin establecer un modelo de predicción para el área foliar de *P. persica* variedad Amarillo Jarillo en la provincia de Pamplona. Este estudio consiste en comparar la eficacia del modelo utilizando fotografías hemisféricas comparadas con modelos destructivos.

2 Problema

2.1 Planteamiento y descripción del problema

Los cultivos de durazno (*P. persica*), los cuales ocupan un renglón muy importante en la economía de la región y los cuales se encuentran sembrados en la Provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia requieren de estudios de investigación agrícola. Estos estudios, permitirán establecer métodos no destructivos para hallar el índice de área foliar (IAF) del duraznero (*P. persica*, Variedad Amarillo Jarillo).

El desconocimiento sobre metodologías y la utilización de cámaras digitales para calcular el índice de área foliar (IAF) en duraznero y su aplicación práctica, es una limitante en la provincia de Pamplona, Norte De Santander, lo cual impide el uso de esta herramienta para la realización de estudios que ayuden a determinar procesos fisiológicos y agronómicos específicos sobre este cultivar. El empleo de métodos útiles, precisos y de bajo costo son una alternativa para determinar el área individual de árboles de durazneros en estudios fisiológicos y agronómicos. Con el fin de disminuir los costos en tiempo y materiales, se propone realizar una estimación individual del área foliar en el cultivo de durazno, el estudio consiste en comparar la eficacia de modelos lineales, producto de mediciones directas no destructivas y modelos destructivos para luego realizar una validación a partir de un nuevo conjunto de datos. El Desarrollo foliar intuye la longevidad de las hojas y su tasa de desarrollo está estrechamente relacionadas con la productividad de un cultivo, pues influyen sobre la densidad del dosel y contribuyen a determinar la duración del área foliar. A su vez, la interceptación de la luz es una función del tamaño y de la disponibilidad del dosel.

3 Justificación

Dado que no existe un estudio de procesos fisiológicos y agronómicos, usando cámaras digitales hemisféricas en el cultivo de durazno (*P. persica*) que se presentan en la provincia de Pamplona, se requiere de un estudio, que genere un impacto positivo en la comunidad principalmente a los productores y agricultores de esta región. Implantando nuevos conocimientos a través de evaluaciones y análisis de los datos, surge el interés por evaluar la presencia y las posibilidades tanto de la información y una nueva tecnología en el sector agrícola de la provincia de Pamplona.

Para la investigación, la docencia y el manejo de los frutales caducifolios en Colombia, se han tomado como base los resultados de investigaciones desarrolladas en la zona templada, dado que la investigación realizada en nuestras condiciones, orientada a la comprensión del comportamiento y desarrollo de estos árboles en la zona del trópico alto, ha sido insuficiente para proponer un paquete tecnológico adecuado orientado hacia el logro de una alta producción de fruta de buena calidad. (Casierra, Rodríguez, & Hernández, 2007).

Es necesario aplicar un nuevo método utilizando esta tecnología en cultivo de durazno (*P. persica*) con la ayuda de la cámara digital hemisférica. Para utilizar esta técnica correctamente se requiere de conocimientos particulares de óptica, fotografía y procesamiento digital de imágenes. Las fotografías son archivos raster, los cuales pueden entenderse como una matriz de n filas por m columnas, donde cada celda es un pixel. Conocer estos aspectos es relevante para adquirir un equipo, capturar fotografías en el terreno y utilizar softwares específicos para su procesamiento. Es importante tener en cuenta que en la captura de la fotografía se producen muchos errores, ya que dependiendo de la región geográfica es muy difícil satisfacer las condiciones ideales de iluminación (Díaz, Lencinas, & Del Valle, 2014).

Los objetivos de la investigación son explicar el principio de funcionamiento de la fotografía hemisférica para el cálculo del índice de área foliar en el duraznero establecido en la provincia de Pamplona.

Establecer una metodología que permita calcular el índice de área foliar (IAF) sin usar técnicas directas o destructivas en el duraznero es el objetivo general a cumplir en esta investigación.

Se compararan dos métodos uno indirecto en este caso con el uso de fotos hemisféricas y otro directo utilizando el modelo de regresión lineal múltiple, para la estimación del índice del área foliar (IAF) en duraznero.

4 Delimitación

Este estudio se realizó en la finca las Delicias, lote Albaricoque, vereda Chichira, localizado en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander. Con la elaboración de este trabajo de investigación se trató de resolver las falencias que existen en la provincia de Pamplona por parte de la comunidad productora, en los temas productivos y agronómicos en el cultivo de durazno (*P. persica*); con la intención de mejorar las labores agronómicas y fisiológicas del duraznero.

Este desarrollo investigativo tiene una diversidad de alcances de tipo científico donde se mostraron una serie de etapas para alcanzar los conocimientos que se requerían en la investigación; de tipo técnico, logrando que los agricultores y productores aprovechen las prácticas necesarias para mejorar la producción y desarrollo del árbol, y por último en el área de los docentes donde se involucraron aportando conocimientos e implementado métodos investigativos para la elaboración de este proyecto.

Se determinó el área foliar con este método indirecto utilizando una cámara digital hemisférica y haciendo uso de un software específico, se analizaron los datos y se determinó si este método es más específico, comparado con un modelo matemático destructivo.

Se trató de dar una mejor perspectiva a los productores sobre los índices óptimos para el mantenimiento y productividad de los árboles, el manejo agronómico más apropiado de los mismos, así como llenar el vacío de investigación sobre comportamiento fisiológico de esta importante variedad Amarillo Jarillo en la provincia de Pamplona.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

- Establecer una metodología que permita calcular el IAF sin usar técnicas destructivas en duraznero Variedad Amarillo Jarillo.

5.2 Objetivos específicos

- Explicar el principio de funcionamiento de la fotografía hemisférica para el cálculo del índice de área foliar en el duraznero Variedad Amarillo Jarillo.
- Utilizar la fotografía hemisférica como herramienta para el cálculo del índice de área foliar (IAF) en duraznero Variedad Amarillo Jarillo.
- Comparar dos métodos para estimar el índice de área foliar (IAF) en duraznero Variedad Jarillo.

Capítulo 2

6 Marco de referencia

6.1 Antecedentes

Estudios realizados sobre la producción forzada del cultivo del duraznero (*P. persica*) en el altiplano tropical de Boyacá; En zonas altas de Colombia (1.800-2.700 msnm), variedades de bajo requerimiento de frío y rápido desarrollo del fruto como lo son las variedades el Dorado y Diamante, se manejan por ciclos forzados con tres cosechas en 2 años. Para este manejo, las prácticas culturales, en el orden de secuencia después de la recolección de frutos, son: fertilización, control fitosanitario, defoliación, poda, riego y aplicación del compensador de frío, que inducen una floración 3-4 meses después de la cosecha. En el caso de variedades con un mayor requerimiento de frío y largo desarrollo del fruto variedad Rubidoux se puede cosechar cada 10,5 a 11,0 meses; así se puede programar cosechas en la segunda mitad del año con valor en el mercado comparativamente más alto. En este artículo se aclara algunas bases de la fisiología y el desarrollo del duraznero en el trópico, sobre las cuales es posible implementar un sistema y manejo de cosechas continuas para las condiciones colombianas. (Fischer, Casierra, & Villamizar, 2010).

Durante el año 2009 y 2010 en la Provincia de Pamplona (Colombia), se realizó un estudio para determinar los aspectos fisiológicos que incidían sobre la producción de durazno. El objetivo principal fue evaluar el desarrollo, crecimiento y el rendimiento agronómico del duraznero variedad Amarillo Criollo (*P. persica* (L.) Batsch); Para hallar los grados días calor. Se utilizó el modelo (Neild y Seeley, 1977): $T_d = T_{med} - T_b$. Las variables dependientes (TAN, TRC, IAF), fueron usadas para construir la curva en función del tiempo. El rendimiento agronómico del duraznero pudo ser explicado por las siguientes variables ANH: Ancho de hoja; AF: Área de hoja; DIAECUFRU: Diámetro ecuatorial fruto; DIALOFRU: Diámetro longitudinal fruto; DIARA: diámetro de la rama; IR: Índice de

redondez; LARH: Largo de hoja; LORA: Longitud de rama; LARXANH: Largo por ancho de hoja; NHO: Número de hojas activas de la hoja; PFF: Peso fresco total fruto; PSF: Peso seco total fruto. El R2 del modelo completo estuvo entre 0,58 - 0,74 (Quevedo, Arévalo, & Zuleta, 2012).

Otro estudio que se ha realizado en la Provincia de Pamplona sobre el duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) y que se llevó a cabo con el fin de caracterizar los diferentes sistemas de producción. Se mostraron tres modelos productivos encontrados en la zona con diferentes características; se destacan empresas innovadoras con áreas superiores a las 20 hectáreas con centros de poscosecha y comercialización en Bogotá; El segundo grupo conformado por medianos productores; el tercer grupo con explotaciones menores a tres hectáreas, se caracterizan por sus restricciones de recursos para la producción, el manejo poscosecha y comercialización. Como recomendaciones se obtuvo que los agricultores requieren apoyo para evaluar nuevos materiales genéticos con el manejo integrado del cultivo, mejorar la competitividad y comercialización del producto y fortalecer los aspectos socioempresariales. (Villamizar, Peñaloza, & Flórez, 2012).

Estudios sobre determinación de un modelo matemático para la estimación de dos variables como lo fueron el área del limbo foliar y el peso seco del limbo de durazno *P. persica* (L.) Batsch cv. Jarillo en la Provincia de Pamplona. Como metodología se seleccionaron cincuenta hojas con 2,5 meses de edad, fueron medidos: ancho del limbo, longitud del limbo, longitud del peciolo, longitud hoja, diámetro peciolo, peso fresco del limbo, peso fresco del peciolo, peso fresco de la hoja, peso seco del limbo, peso seco peciolo, peso seco de la hoja, longitud /ancho limbo, longitud del peciolo/longitud del limbo, área foliar del limbo. Los resultados alcanzados permitieron obtener ecuaciones de regresión para estimar el área foliar del limbo y el peso seco del limbo. Se halló una ecuación para la determinación del área foliar del limbo con los modelos lineales $LA = b_1 + b_2 (LLL \times LLW)$

y $LA = b_1 + b_2LLL + b_3LLW$. También se evaluaron modelos alternativos para calcular el peso seco del limbo, $LLDW = -b_1 + b_2LLFW$ y $LLDW = -b_1 + b_2LLL + b_3PL$. Las mejores ecuaciones encontradas con un R^2 del 0,99 fueron $LA = 1,572 + 0,65169(LLL \times LLW)$, $LA = -23,106 + 2,8064LLW + 3,6761LLL$ y $LLDW = -0,002 + 0,401(LLFW)$ (Quevedo, Arévalo, & Cancino, 2012).

Mediante el uso de fotos hemisféricas se han realizados estudios de estimación del área foliar (IAF) y cobertura arbórea; este estudio fue realizado en el estado de Hidalgo, México en un bosque manejado de *Pinus patula*. El IAF se obtuvo mediante la calibración alométrica de mediciones ópticas en fotografías hemisféricas (Pseudo $r^2=0,79$). Las estimaciones geoespaciales se realizaron con dos métodos: el análisis de regresión lineal múltiple y el estimador no paramétrico del vecino más cercano (k-nn). El análisis de los resultados mostró una relación alta entre el IAF calibrado ($r^2=0,93$, RECM=0,50, coeficiente de determinación y raíz del error cuadrático medio) y la COB ($r^2=0,96$, RECM=4,57 %) con las bandas espectrales y con los índices construidos a partir de éstas. Las estimaciones promedio para los rodales arbolados fueron IAF=6,5 y COB=80 %. Las estimaciones por hectárea con ambos métodos (regresión y k-nn) fueron comparables entre sí. (Aguirre, Valdez, Ángeles, De los Santos, & Aguirre, 2011).

Otros estudios con el uso de fotografías hemisféricas se han desarrollado para determinar variables, como los claros del dosel y estimar, tanto la estructura del mismo, como la transmisión de luz al sotobosque; fue realizado con el objetivo de explicar el principio de funcionamiento de la fotografía hemisférica en estimación de parámetros estructurales de bosques. El trabajo se dividió en los apartados generales Óptica y fotografía, procesamiento digital y estimación de parámetros estructurales. El primero trata tanto de la lente y la cámara fotográfica como de los aspectos relacionados con la captura de la imagen en el bosque. En

Procesamiento digital se aportan nociones básicas sobre imágenes digitales y procesamiento. (Mauro, Lencinas, & Del Valle, 2014).

Siguiendo con los estudios donde se usan fotos hemisféricas. Se encuentra la evaluación en dos plantaciones de chopo destinadas a producción de biomasa con fines energéticos, se midieron durante dos años consecutivos la producción de biomasa seca y el índice de área foliar, este último por dos métodos: (i) semidirecto, mediante pesada de todas las hojas de una muestra de árboles, e (ii), indirectamente mediante toma de fotos hemisféricas y aplicación de modelos de ajuste de la fracción de huecos de la cubierta. Se han utilizaron tres modelos diferentes para estimar el índice de área foliar a partir de la fracción de huecos obtenida por digitalización de las fotografías hemisféricas. Estos modelos son el modelo de Poisson y dos modelos más propuestos recientemente para pino silvestre y que aportan al modelo de Poisson un factor de corrección para el agrupamiento de las hojas. Los resultados de este estudio indicaron que el modelo para estimar el índice de área foliar que mejor se ajustó a la fracción de huecos medida en las fotografías hemisféricas es el tercer modelo presentado propuesto para pino silvestre. (Hernandez, Montes, Viscasillas, Blanco, & Cañellas, 2009).

Otros trabajos han centrado su estudio en la importancia del manejo agronómico del duraznero en la provincia de Pamplona, estableciendo modelos de crecimiento y desarrollo para manejo morfofisiológicos, dando prioridad al cálculo de los índices morfofisiológicos, estadios fenológicos y comportamiento fisiológico de las plantas, caracterizando propiedades físicas y químicas de los frutos en las parcelas muestreadas, concluyendo que las propiedades físicas y químicas obtenidos fueron de 0,86 y 0,90 en el índice de redondez, el pH de los frutos tuvo un rango de 4,0 y los sólidos solubles totales fueron de 13,0% (Zuleta, 2011).

6.2 Marco contextual

6.2.1 Departamento de Norte de Santander

El Departamento Norte de Santander está ubicado al nororiente del país, en la zona de frontera con la República Bolivariana de Venezuela; geográficamente se localiza entre los $06^{\circ}56'42''$ y $09^{\circ}18'01''$ de latitud norte y los $72^{\circ}01'13''$ y $73^{\circ}38'25''$ de longitud oeste y tiene una extensión de 22,130 km², que equivale al 1,91% del territorio nacional. Limita por el norte y el oriente con la República Bolivariana de Venezuela, por el sur con los departamentos Arauca y Boyacá, y por el occidente con los departamentos Santander y Cesar, como se muestra en la figura 1. Hace parte de la Región Andina, la más densamente poblada del país, junto con los departamentos Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Santander, Quindío, Risaralda y Tolima.

El departamento tiene 22 309,55 kilómetros cuadrados y está comprendido por 40 municipios, que se pueden agrupar en 6 subregiones: norte, oriente, centro, sur-occidente y sur-oriente, dentro de la cuales se encuentran: **Occidente:** Abrego, Cahira, Convención, El Carmen, La Esperanza, Hacari, La Playa, Ocaña, San Calixto y Teorema ; **Norte:** Bucarasica, El Tarra, Sardinata y Tibú ; **Oriente:** Cúcuta, El Zulia, los Patios, Puerto Santander, San Cayetano y Villa del Rosario; **Sur occidente:** Cacota, Chitagá, Mutiscua, Pamplona, Pamplonita Y Silos; **Centro:** Arboledas, Cucutilla, Gramalote, Lourdes, Salazar de las palmas, Santiago y villa caro; **Sur Oriente:** Bochalema, Chinacota, Durania, Herran, Labateca, Ragonvalia y Toledo (CORPONOR, 2006).



Figura 1. Ubicación geográfica del departamento norte de Santander, el departamento de Norte de Santander limita por el norte y el este con Venezuela; por el sur con Boyacá y por oeste con Santander y Cesar. Fuente: (Salamanca ,2010).

6.2.2 La Provincia de Pamplona

El estudio estuvo ubicado en la provincia de Pamplona en el departamento de Norte de Santander, Colombia, en el piso térmico frío (2000 – 3000 msnm), en el municipio de Pamplona, vereda Chíchira, lote Albaricoque, finca las Delicias, propietario William Eduardo Flórez Villamizar como se muestra en la figura 2. El estudio se delimita geográficamente en el municipio de Pamplona.

Pamplona 318 Km Norte: con Pamplonita y Cucutilla Sur con Cócota y Mutiscua Oriente con Labateca Occidente con Cucutilla. Sus coordenadas son 72°39' de longitud al oeste de Greenwich y a 7° y 23' de latitud norte.

En la región un 34,52% de los agricultores se dedican exclusivamente a la producción de durazno que se pueden caracterizar como líderes en la región ya que gracias a la producción y

productividad de los cultivos generan más empleos y se ha mejorado la economía de los habitantes de la zona (Villamizar, 2008).

Según algunos estudios preliminares Norte de Santander figuran en el puesto 14 dentro de los departamentos que siembran durazno, con un área sembrada de 530 Ha. En la zona de la provincia de Pamplona, se ha logrado en algunas fincas producciones de hasta 500 kilogramos por planta y con un promedio en Cácosta, Chitagá y Pamplonita de 300 kilogramos por planta (Peñaranda, 2012).

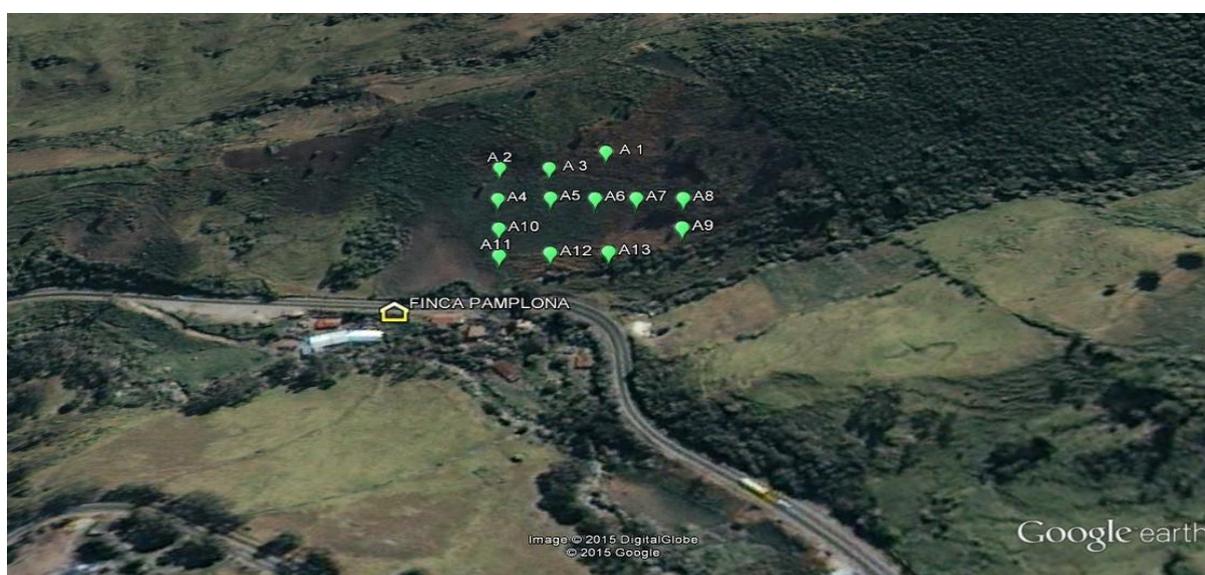


Figura 2. Ubicación del lote en la finca las Delicias y distribución de los 13 árboles de estudio, Municipio de Pamplona, Norte de Santander. Recuperado de https://intl/es_es/earth/ [Consultado: Agosto 28 del 2015 /16:32].

6.3 Marco teórico

6.3.1 Variedad Jarillo

La variedad Jarillo se encuentra adaptada a condiciones agroecológicas tropicales estableciéndose exitosamente desde los 1500 a 2700 msnm, altitudes propicias para su desarrollo y producción. El Jarillo es producto de la selección de un gran número de plantas de semilla, de las cuales se escogieron aquellas que tenían mayor producción y poseían los frutos de mayor tamaño, luego estas plantas se propagaron por injertación. (Perez, 2007). Este cultivar presenta flores rosadas de tamaño medio, el fruto de poca o escasa pubescencia, de pequeño tamaño, forma oblonga, y color amarillo tanto en la piel como en su interior, con un peso aproximado de 49,4 g y la semilla permanece adherida a la pulpa; la pulpa es de color amarillo y firme. El destino de comercialización de la variedad es principalmente la industria, con excepción de los frutos de primera calidad que se distribuyen como fruto para consumo en fresco. (Herrera, y otros, 2008).

6.3.2 Tipificación de fincas con cultivos de duraznero en Norte De Santander

En Norte de Santander la superficie de las fincas dedicadas al cultivo de duraznero es 53 Has en promedio, fincas cuyas pendientes son quebradas, superiores al 15%, con 52,71 ha de las fincas dedicadas a este cultivo, con 6950 árboles establecidos por finca, de aproximadamente 12,5 años de edad en promedio, con predominio de las variedades Jarillo y Gran Jarillo, las cuales son mejoradas a través de métodos tradicionales y de buena adaptación en la región y un rendimiento de 65 t/ha año. Tienen baja disponibilidad de mano de obra para contratar las labores, acuden a la asistencia técnica que es restringida y según la necesidad, hacen selección de la fruta pero venden su producción en la finca. (Miranda, Fischer, & Carranza, 2013).

6.3.3 Ecofisiología

Los requerimientos ecoambientales del duraznero para alcanzar un buen desarrollo fisiológico son:

Temperaturas entre 20 y 30°C durante el crecimiento del fruto y del follaje, pero de solo 2 a 12°C cuando se encuentra en reposo. Un suelo fértil y profundo, proporciona los nutrientes y el agua requeridos: 5 a 35 litros diarios a partir de la floración y hasta iniciarse el periodo de lluvias. Una alta disponibilidad y consumo de agua y nutrientes favorecen más el desarrollo de follaje que de fruta. (Perez, 2007). La precipitación, necesita entre 1200 a 1800 mm de lámina caída en todo el ciclo, periodos de sequía afectan el desarrollo de las yemas florales. El periodo más crítico por exigencia de agua ocurre en la fase previa a la maduración del fruto, los buenos rendimientos solo se obtendrán si se logra mantener la disponibilidad de agua mayor a 50% de la capacidad de campo.

Para luz, un alto número de horas brillo favorece la maduración y calidad del fruto un mínimo de 30% y hasta un 70% de la radiación solar directa. Para captar la radiación solar es necesario un Área Foliar de 1,5 a 2,8, equivalente a un área total de follaje entre 2 y 10 m² para árboles jóvenes y entre 20 y 30m² para árboles adultos y en producción. Por lo general, se requiere un mínimo de 150 cm² de follaje por fruto (5 a 10 hojas) para mantener buenas producciones anuales y calidad de fruta. Dichos valores dependerán de las distancias de plantación, variedades, edad, condiciones de clima, suelo y manejo de los huertos. (Perez, 2007).

La energía total capturada por los árboles es invertida en diferentes proporciones para la formación de nuevo follaje y frutos, así como en raíces, ramas y tronco. La cantidad invertida en cada una de estas partes, dependerá de: a) las características genéticas de cada variedad; b) de las condiciones de clima; y c) de las prácticas de cultivo, como raleo de frutos, poda, riego y fertilización. Cualquier cambio en alguna de las tres repercutirá en la proporción

invertida en cada parte u órgano del árbol. El rendimiento por árbol depende en gran medida de su peso total y de las condiciones del clima. Mientras más pesado sea un árbol, mayores serán sus posibilidades de producción, siempre que las condiciones de clima y prácticas de manejo se lo permitan. (Perez, 2007).

6.3.4 Manejo del cultivo

La producción es forzada debido a que en el trópico no hay suficiente acumulación de horas frío para que la planta rompa la latencia o el reposo, que en otras zonas templadas ocurre de manera natural. Por esta razón se hace necesario recurrir a la producción forzada que se basa en el uso de a) cultivares con bajos requerimientos de frío, b) desecantes para la defoliación, y c) promotores químicos de la brotación reproductiva. (Aular, Echeverria, & Milla, 2013).

Como la producción es forzada en zonas altas, los rendimientos e incluso la calidad de los frutos son bajos, lo cual es debido a la competencia entre el periodo vegetativo y reproductivo, el desarrollo anormal del polen y del ovario y deficiencias en la polinización por motivo de las elevadas temperaturas. Para la defoliación de la planta como medio para simular el otoño, se aplican desecantes como el clorato de sodio. La defoliación se realiza de forma manual una semana después de la aplicación del producto. Seguidamente 15 días después se aplica un promotor de brotación como cianamida de hidrógeno. El intervalo entre la defoliación y la cosecha puede ser de aproximadamente 6 meses. Luego de la fructificación y el cuajado se debe hacer el raleo o desbaste de frutos para obtener una mejor calidad de la fruta. (Aular, Echeverria, & Milla, 2013).

6.3.5 Índice de área foliar (IAF)

Área total de la superficie superior de las hojas por área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta. (USDA, 2007). Cantidad de hojas con relación al área de cultivo, este es llamado índice de área foliar y define el área foliar por unidad de área

de cultivo (Hernández 2011) que representa la cantidad de superficie foliar soportada (m^2) por una determinada superficie de terreno (m^2). El índice de área foliar (IAF) es una variable útil para caracterizar la dinámica y productividad de los agroecosistemas, además representa el tamaño de la fuente de un cultivo. La cobertura arbórea regula la cantidad de luz penetrante que controla los procesos fotodependientes, y promueve la infiltración de la precipitación como servicio hidrológico ambiental. (Aguirre, Valdez, Ángeles, De los Santos, & Aguirre, 2011).

6.3.6 Estructura del dosel

La estructura del dosel del árbol de duraznero es la cantidad y organización de la parte aérea de las plantas en una comunidad vegetal; su descripción incluye el tamaño, la forma y las distribuciones posicionales de varios órganos de la planta, tales como hojas, tallos, ramas, ramillas, yemas y frutos del duraznero. Dada la dificultad en la obtención de las características mencionadas en duraznero, aún en doseles simples, Norman y Campbell establecen que la cantidad de material vegetal puede estar representada en forma general por el índice de área foliar (Villamizar, 2007).

6.3.7 Desarrollo foliar

La longevidad de las hojas y su tasa de desarrollo está estrechamente relacionadas con la productividad de un cultivo, pues influyen sobre la densidad del dosel y contribuyen a determinar la duración del área foliar. A su vez, la interceptación de la luz es una función del tamaño y de la disponibilidad del dosel. Según la distancia de siembra y la edad del cultivo, el desarrollo foliar en *P. persica* (L) Batsch. Para las Variedades Jarillo, Gran Jarillo y Diamante es variable (Villamizar, 2007).

6.3.8 Fotos hemisféricas

Permite obtener un registro detallado de los claros del dosel y estimar, tanto la estructura del mismo, como la transmisión de luz. Con fotografías hemisféricas tomadas desde el

interior del bosque pueden medirse los claros del dosel (fracción, tamaño y distribución) (Rich, & Hu 2009). Debido a que los equipos de fotografía hemisférica tienen usos muy diversos, incluso en fotografía artística (Jacobson, 2010), su costo es bajo en comparación con instrumentos específicos (Chen, 2006). Aunque no se trate de un instrumento específico indirecto, para utilizar esta técnica correctamente se requiere de conocimientos particulares de óptica, fotografía y procesamiento digital de imágenes.

Capítulo 3

7 Metodología

7.1 Diseño metodológico

Los datos fueron analizados en programas estadísticos tales como EXCEL, IBM SPSS Statistics 20, Statistix 8.0. Este último fue desarrollado originalmente para la investigación en control estadístico de calidad e investigación de operaciones y la investigación científica.

Para los análisis de los resultados se aplicaron pruebas paramétricas o no paramétricas según se verificó el cumplimiento de los supuestos (normalidad, homocedasticidad, etc.) para dos muestras independientes (comparación de los dos métodos que se usaron para el cálculo de índice de área foliar (IAF)).

Las pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de significancia del 5%, con un nivel de confianza del 95% y una estimación por intervalos.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Municipio de Pamplona, Departamento Norte de Santander, Vereda Chíchira, Finca las Delicias, Lote Albaricoque, a una Altitud de 2157 m.s.n.m, propietario William Eduardo Flórez Villamizar.

Se seleccionaron 13 árboles de duraznero aleatoriamente del lote Albaricoque, donde se marcaron con pintura blanca lo cual se enumeraron. Estos árboles presentaron estadio principal 3. Crecimiento longitudinal de los brotes terminales 18 DDD (días después de la defoliación) como se muestra en la figura 3; la toma de fotografías se inició en el estadio principal 6. Floración 32 DDD (días después de la defoliación) como se muestra en la figura 4, esta toma de fotos se llevó a cabo quincenalmente, siempre y cuando las condiciones climáticas fueron las adecuadas para la toma de estas; las tomas de fotografías finalizaron cuando los árboles entraron en estadio principal. Maduración del fruto 170 DDD (días después de la defoliación) como se muestra en la figura 5.

El propósito fue determinar el índice de área foliar (IAF), usando un método no destructivo, con ayuda de una herramienta indirecta como lo es la cámara digital hemisférica. Se tomaron tres fotos por árbol con una cámara Nikon D5`100 18-55 VR KIT AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3,5- 5,6G VR, a la que se le acopló una lente esférico ojo de pescado de alta definición 8mm con rango de apertura F3,5-22 y ángulo de apertura de 180°. Las fotografías se tomaron bajo el árbol de forma horizontal con el fin de capturar el dosel del árbol, sobre un trípode nivelable situado a 20 cm del suelo, altura a partir de la cual se calcula el IAF.



Figura 3. Estadio principal 3. Crecimiento longitudinal de los brotes terminales 18 DDD (días después de la defoliación). Fuente: (Quevedo, 2011).



Figura 4. Estadio principal 4. Floración 32 DDD (días después de defoliación). Fuente: Propia



Figura 5. Estadio principal 8. Maduración del fruto 170 DDD (días después de la de defoliación). Fuente: Propia

7.1.1 Procedimiento para la toma de fotografías hemisféricas

- Se ajustó la cámara a un trípode, con el fin de mantener la estabilidad de la misma. Como se muestra en la figura 6.
- Con la ayuda de una brújula ubicada en la parte superior del lente hemisférico se ubicó la cámara en dirección al norte magnético para la toma de fotografías.
- El número de fotografías fue opcional, dependió de la imagen capturada, pero se recomienda tomar tres fotos para comparaciones y seleccionar la mejor. Fue importante considerar el tiempo de apertura y exposición del lente, temporizador, todo controlado por el evaluador.
- Para el análisis posterior de las fotografías, fue importante registrar otro tipo de información como: pendiente del terreno, altitud, posición geográfica, fecha de la toma de las fotografías. (Muñoz, 2013).

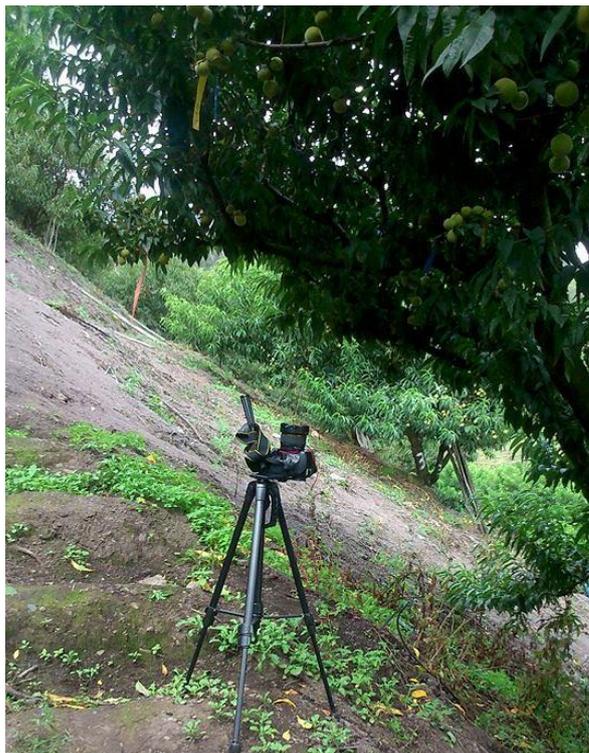


Figura 6. Cámara ajustada al trípode de forma horizontal hacia el dosel del árbol de duraznero. Fuente: propia

7.1.2 Adquisición de la imagen

La fotografía de la parte aérea del follaje obtenida con la cámara digital fue dirigida siempre hacia el follaje en forma horizontal y a la misma altura en todos los puntos de evaluación a 20 cm del suelo actos para el cálculo del (IAF). Se obtuvieron varias fotografías en este caso fueron tres por árbol de duraznero para así seleccionar la mejor foto.

7.1.3 Clasificación de imágenes

Cuando la fotografía original tuvo un grado razonable de contraste de color entre el cielo y el dosel esta fue seleccionada para su respectivo análisis como se muestra en la figura 7. Sin embargo, imágenes con una cantidad inadecuada de contraste en ciertas partes de la fotografía fueron descartadas para el análisis. Por ejemplo, por la dispersión de la luz en todo el cenit a veces se desdibujan los límites entre el cielo y el follaje, y cerca del horizonte bajo

la luz se tiende a subestimar el número y tamaño de los huecos como se muestra en la figura 7 y 8.



Figura 7. Fotografía hemisférica con grado razonable de contraste, apta para el análisis. Fuente: propia



Figura 8. Fotografía hemisférica con una cantidad inadecuada de contraste, no apta para el análisis. Fuente: propia

7.1.4 Uso del Software Gap Light Analyzer (GLA), para calcular índice de área folia (IAF) en el duraznero variedad Amarillo Jarillo

Con el Software Gap Light Analyzer (GLA), se obtuvieron los datos a partir de las fotografías hemisféricas tomadas al dosel del árbol, GLA del índice de área foliar de cada árbol de duraznero evaluado.

- Las imágenes fueron importadas directamente desde la cámara digital. GLA incluye una serie de herramientas y funciones de procesamiento de imágenes para registrar y manipular estas imágenes importadas.
- Para el análisis de las imágenes digitales y la realización de un cálculo más aproximado fue necesario alimentar el aplicativo con información básica como: Norte magnético, localización (latitud, longitud, altitud), orientación del lote (plano, inclinado), ajustes por azimut y zenit, brillo solar, entre otros. Este proceso solo se hizo una sola vez, ya que toda la información del lote o finca queda almacenada en un correspondiente archivo.
- Posterior al cálculo, se dio un resumen de los resultados del índice de área foliar (IAF) en un recuadro arrojado por el software GLA.
- Desplegada una ventana donde se observaron los resultados de los cálculos; estos resultados fueron almacenados en una hoja de cálculo (Excel) para su posterior análisis, interpretación y comparación (Frazer, Canham, & Lertzman, 1999).

7.1.5 Selección del método directo (destrutivo) para comparar según criterio el índice de área foliar calculado mediante el Software Gap Light Analyzer (GLA).

Mediante estudios realizados la ecuación comparada fue calculada para la variedad Jarillo en árboles mayores de 8 años. Para la selección y comparación de los dos modelos, por criterio se seleccionó el modelo de regresión lineal múltiple para el índice de área foliar en términos del área foliar por árbol y el peso seco por árbol viene dada por la siguiente ecuación: $Y (\text{ÁREA FOLIAR POR ÁRBOL EN CM}^2) = 127643,411 + 297349,038 \text{ WSECO DE 30 HOJAS EN GRAMOS} + 157,203 \text{ ÁREA FOLIAR DE 30 HOJAS EN CM}^2$. Donde Y es el índice de área foliar, $R^2 = 0,972$ y R^2 ajustado = 0,971 (Quevedo, 2008, 2009, 2010, 2011).

Capítulo 4

8 Resultados y discusión

Los datos obtenidos del índice de área foliar calculados con el software GLA, fueron analizados teniendo en cuenta cada toma de datos desde los 33 DDD (días después de defoliación) hasta los 170 DDD, se analizó el comportamiento del IAF de cada árbol.

A continuación se muestran los resultados de IAF de 13 árboles de duraznero calculado con el método indirecto.

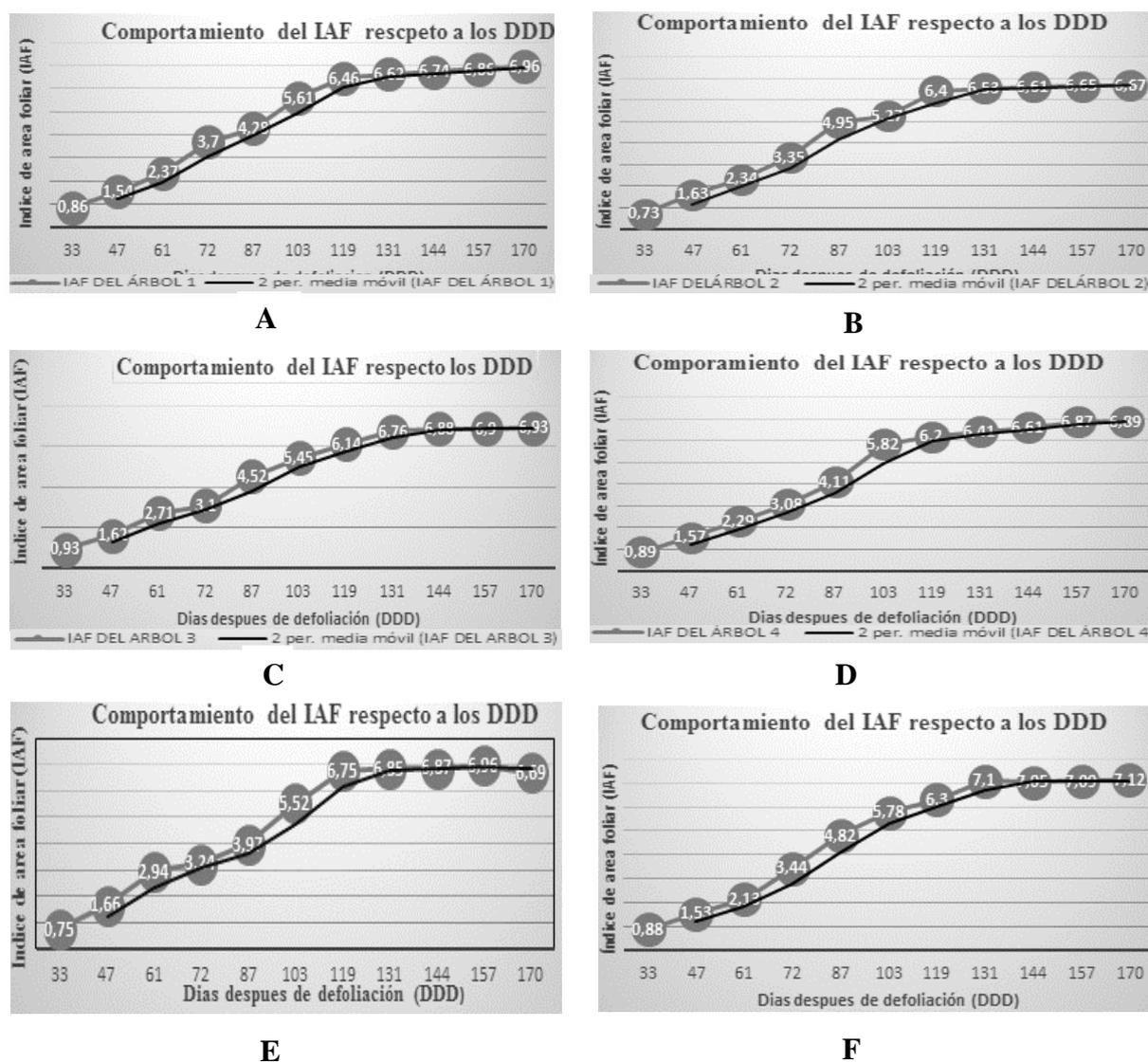


Figura 9. Crecimiento del IAF desde los 33 DDD hasta los 170 DDD en árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo. A. Árbol 1 B. Árbol 2 C. Árbol 3 D. Árbol 4 E. Árbol 5 F. Árbol 6



A



B



C



D



E



F



G

Figura 10. Crecimiento del IAF desde los 33 DDD hasta los 170 DDD en los árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo. A. Árbol 7 B. Árbol 8 C. Árbol 9 D. Árbol 10 E. Árbol 11 F. Árbol 12 G. Árbol 13

Se muestra en las figuras 9 y 10 el crecimiento del Índice de área foliar (IAF) por árbol respecto a los días después de defoliación (DDD), se observa las medias móviles con una tendencia similar del IAF en los 13 árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo. Los arboles presentan valores inferiores a 1 en los 33DDD alcanzando valores cercanos a 7 en los 170DDD y otros superando este valor. Lo que nos indica que estos árboles alcanzaron su producción de materia seca y capacidad fotosintética con valores de IAF adecuados para esta especie.

Algunas especies absorben el 85% de la radiación incidente con un (IAF) de 4 a 5, en este caso se encontró un valor promedio de 4.57 en estos árboles de duraznero con más de 10 años de edad, lo que indica que este IAF es óptimo para una buena captación de luz favoreciendo una buena producción en este cultivar.

8.1 Crecimiento del índice de área foliar (IAF) en cultivo de duraznero

La producción de materia seca o eficiencia fotosintética de un cultivo depende principalmente de su índice de área foliar (IAF); y que este a su vez depende de la densidad de población (Casierra, 2008). Los cultivos de duraznero, en su plenitud de crecimiento, interceptan el 95% de la luz incidente, aunque con distintos valores de IAF, algunas especies absorben el 80% de la radiación incidente con un IAF de un rango entre 4 a 5. El crecimiento del índice de área foliar se presenta debido a que las plantas expresan la capacidad de la estructura foliar para interceptar la radiación solar, además representa la suma de la totalidad de las superficies de las hojas existentes en un área de suelo (Montaldi, 1995).

8.2 Valores promedios de Índice de área foliar (IAF) de los 13 árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo

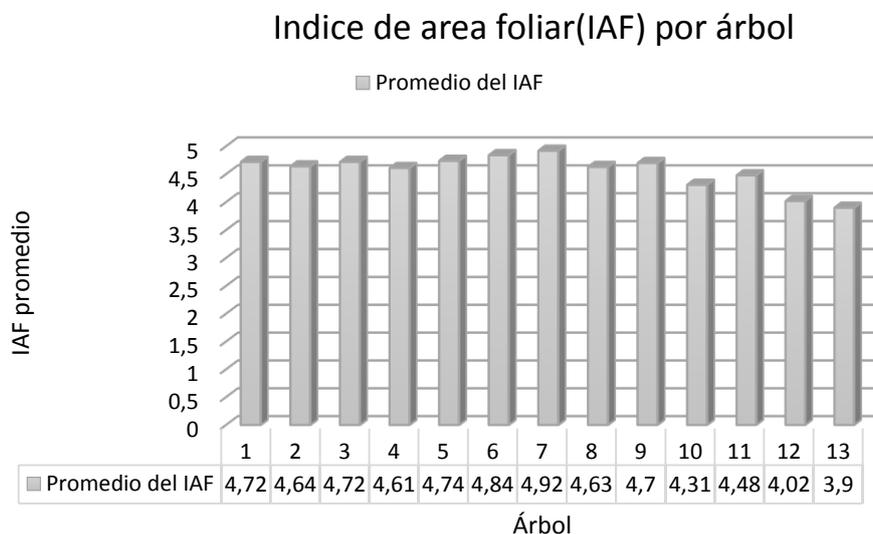


Figura 11. Comportamiento del IAF promedio de los 13 árboles estudiados de duraznero variedad Amarillo Jarillo

La figura muestra el comportamiento del índice de área foliar (IAF) en los 13 árboles de duraznero variedad Amarillo Jarillo, a los 33 DDD se obtuvo un IAF promedio de los 13 árboles de 0,82 y un IAF promedio de 6,79 a los 170 DDD, determinando que hubo crecimiento del índice de área foliar (IAF) en los árboles.

Se observa que los resultados obtenidos de IAF son homogéneos, con una media de 4.56 y una varianza de 0,093; teniendo en cuenta el error de muestreo hallados con los valores de IAF, indico que le coeficiente de variación es $< 20\%$ dando como resultado 6,68 de variación entre los datos de IAF.

Comparando los IAF obtenidos en los 13 árboles se aprecia que no hay diferencias significativas en estos valores ya que estos árboles presentan un IAF óptimo indicando que se presentó un incremento de materia seca desde los 33DDD hasta los 170 DDD, esto se consigue cuando un cultivo intercepta virtual toda la radiación fotosintéticamente activa disponible (Gardner, Pearce, & Mitchell, 1985).

8.3 Comparación de los dos métodos (directo e indirecto) para estimar el índice de área foliar (IAF) en duraznero Variedad Jarillo.

Se aplicó a los datos del IAF calculados con los dos métodos (directo e indirecto) pruebas no paramétricas haciendo uso del programa Statistix 8.0 para realizar la comparación. Estas pruebas estadísticas no requieren de supuestos; se hizo una ANOVA por el método de Kruskal-Wallis con el fin de hacer un contraste de hipótesis entre los dos métodos indirecto y directo.

8.3.1 Aplicación de métodos no paramétricos

8.3.2 Contraste de hipótesis

$$\begin{cases} H_0: \mu_D = \mu_I \\ H_1: \mu_D \neq \mu_I \end{cases}$$

La expresión anterior indica lo siguiente:

H0: hipótesis nula; el promedio del método directo es igual al promedio del método indirecto ($\mu_D = \mu_I$).

H1: hipótesis alterna; el promedio del método directo es diferente al promedio del método indirecto ($\mu_D \neq \mu_I$).

Si el P-valor es < 0.05 se rechaza la H_0

Si el P-valor es > 0.05 no se rechaza la H_0

8.3.3 Método no paramétrico Kruskal-Wallis de una vía no paramétrica ANOVA para el índice de área foliar (IAF) por método

Tabla 1

Paramétrico ANOVA Aplicado a Rangos					
Fuente de variación	Grado de libertad (DF)	Suma de cuadrado (SS)	Suma de cuadrado medios (MS)	Estadístico (F)	P-valor
Entre	1	220543	220543	36.2	0.0000
Dentro	284	1728855	6088		
Total	285	1949398			

Prueba Kruskal- Wallis: variable dependiente IAF

En la tabla 1 se observa el p-valor conduce a rechazar la hipótesis nula ($P\text{-valor } 0.0000 < 0.05$), esto indica que los dos métodos (directo e indirecto) presentan diferencias significativas en el IAF a partir de los 33 hasta los 170 días después de defoliación (DDD).

Tabla 2

Prueba Kruskal- Wallis: Todas las comparaciones por parejas, IAF por método

METODO	Media	Grupos homogéneos
Directo	5.9421	A
Indirecto	4.5614	B

Alfa 0.05

En la tabla 2 se muestra la comparación de los métodos (directo e indirecto), se observa las medias obtenidas en el índice de área foliar (IAF) respecto a los días después de defoliación (DDD). El método directo presento una media mayor que el método indirecto con una

diferencia de 1.4 en el IAF, lo que indica que los grupos no son homogéneos o que las dos medias son significativamente diferentes una de la otra.

Según los resultados de todas las comparaciones por parejas se presentan los resultados en la siguiente figura.

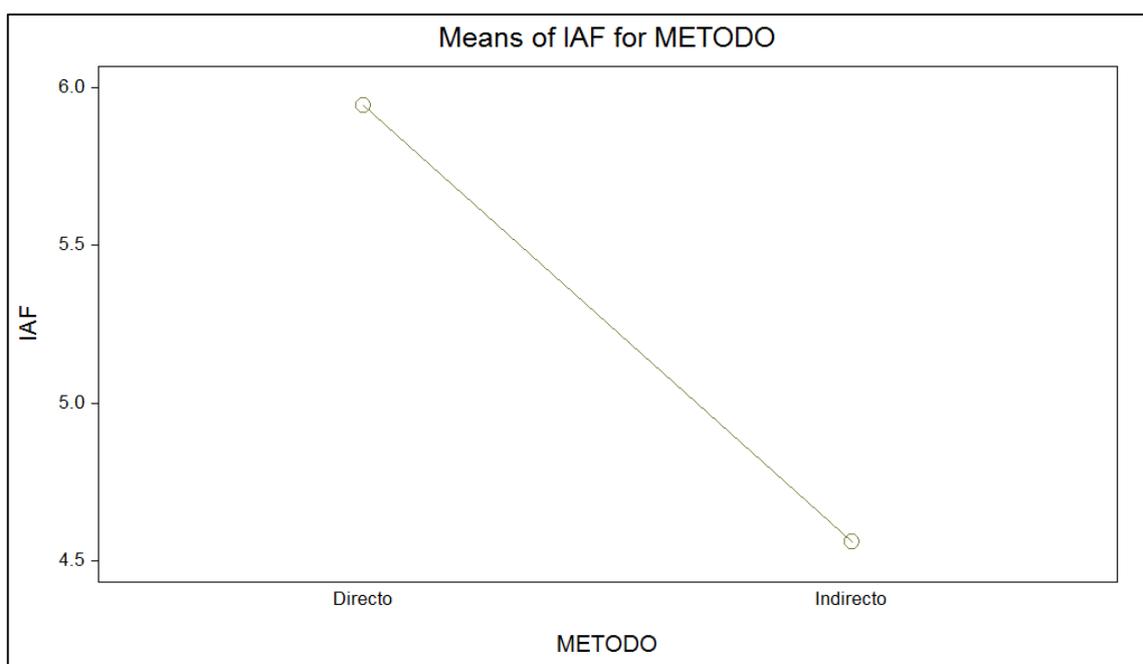


Figura 12. Medias de los índices de área foliar (IAF) de los dos métodos (directo e indirecto). Diferencias significativas.

Se muestra en la figura las medias de cada método, observando las diferencias encontradas en el IAF aplicando la prueba Kruskal- Wallis.

La estimación del índice de área foliar constituye un índice importante para establecer la capacidad de las plantas para interceptar la luz, realizar fotosíntesis y producir bienes agrícolas. En general, una alta productividad requiere una interceptación adecuada que aproveche al máximo la radiación solar incidente (Herbert, 2004).

El índice de área foliar (IAF) alcanzado por un árbol de durazno durante los estadios específicos de su desarrollo es importante para aplicar modelos o métodos en este cultivo con fines agronómicos.

8.4 Análisis de los dos métodos (directo e indirecto), aplicando ANOVA de un factor comparando valores descriptivos entre métodos.

Tabla 3

Comparación de los índices de área foliar (IAF) de los dos métodos aplicando ANOVA de un factor

Método	Descriptivos						
	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
Indirecto	4,5614	2,18151	,18243	4,2008	4,9220	,65	7,30
Directo	5,9429	1,62071	,13553	5,6750	6,2109	,95	7,98
Total	5,2522	2,03930	,12059	5,0148	5,4895	,65	7,98

Se muestra en la tabla 3 que por el método indirecto se estima una media puntual de 4,56 y una estimación por intervalo de la media del IAF que se encuentra entre 4,2 y 4,9 con un nivel de confianza del 95%. A diferencia del método directo que presento una media puntual de 5,9 y una estimación por intervalo de la media del IAF entre 5,6 y 6,2. Lo que indica que este método presento más variabilidad en el IAF respecto a los días después de defoliación (DDD).

El IAF varía de acuerdo a la forma de la hoja y a la distribución tanto vertical como horizontal de las hojas en el canopy o dosel de la planta.

La absorción de luz incidente sobre un cultivo depende de la amplitud de su superficie foliar. Una medida que expresa la capacidad de la estructura para interceptar la radiación solar es el índice de área foliar (IAF) (Montaldi, 1995).

9 Conclusiones

Se puede obtener el índice de área foliar (IAF) óptimo del duraznero variedad Amarillo Jarillo por este método indirecto.

La metodología sirve como herramienta metodológica para el cálculo del índice de área foliar (IAF) en duraznero variedad Amarillo Jarillo.

Este método permite eficiencia en el uso de tiempo y como método no destructivo para hallar el índice de área foliar (IAF) en duraznero Variedad Amarillo Jarillo.

El índice de área foliar (IAF) obtenido con el método indirecto es similar al hallado con el método directo.

La comparación de los dos métodos nos indicó que cualquiera sirven para hallar el índice de área foliar (IAF) en duraznero variedad Amarillo Jarillo. Pero la fotografía hemisférica es mucho más eficiente en el uso del tiempo y no es destructivo.

Se concluyó que el método indirecto (no destructivo) es apropiado para determinar el índice de área foliar en cultivos de gran importancia económica en la provincia de Pamplona y posteriormente establecer el manejo agronómico del cultivo de acuerdo a los resultados obtenidos con la metodología aplicada.

El método indirecto tuvo como ventaja su bajo costo de implementación, una mayor precisión en el cálculo del IAF respecto a los métodos destructivos, consistencia frente a otros métodos destructivos y eficacia en el uso del tiempo.

10 Recomendaciones

Se recomienda tomar 3 fotos por árbol, con el fin que cubra toda la proporción de la copa del árbol, analizar las tres fotos y sacar el promedio.

Para la toma de las fotografías se recomienda seguir los pasos recomendados del manual para obtener buenas fotos hemisféricas y el buen uso de la cámara digital

Se sugiere seguir empleando el método usando la foto hemisférica ya que presentan muchas ventajas en comparación a métodos destructivos

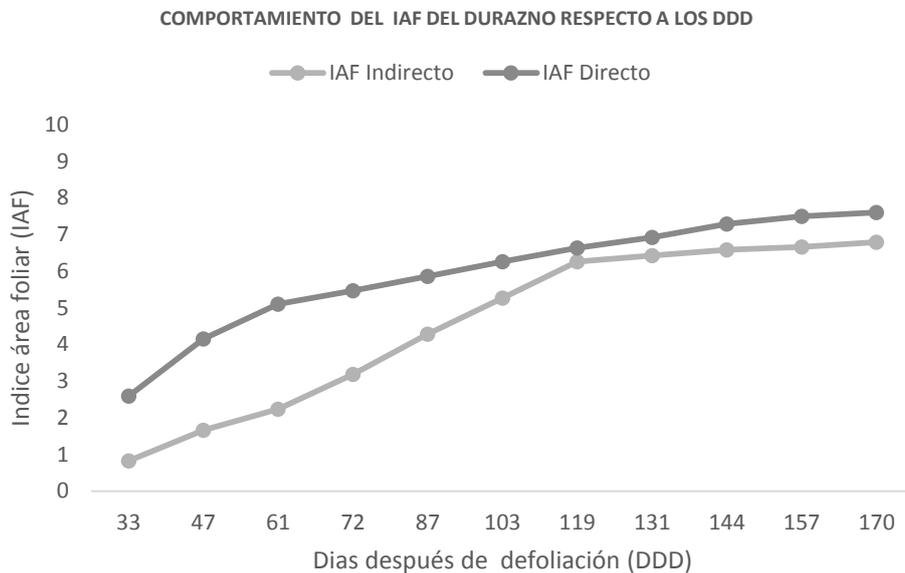
11 Referencias

- Aguirre, C., Valdez, J., Ángeles, G., De los Santos, H., & Aguirre, A. (2011). MAPEO DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y COBERTURA ARBÓREA MEDIANTE FOTOGRAFÍA HEMISFÉRICA Y DATOS SPOT 5 HRG: REGRESIÓN Y K-NN. *revista Agrociencia*, 105-119.
- Aular, J., Echeverría, Y., & Milla, D. (2013). Compilación informativa del duraznero. En J. Aular, Y. Echeverría, & D. Milla, *Diagnostico del manejo hortícola de huertos de durazneros en la localidad del Cedral, estado Miranda* (págs. 9-11). Miranda.
- Carranza, C., Miranda, D., & Fischer, G. (2012). *Memorias Seminario Internacional de Frutales Caducifolios en el Trópico*. Bogotá: ISBN Primera edición.
- Casierra, F., Rodríguez, J. I., & Hernández, J. (2007). . La relación hoja: fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*P. persica* L. Batsch, cv. 'Rubidoux'). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*.
- Craig-Macfanlace, C. (2007). En *Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. Agric. Forest. Meteorol.* (págs. 176–188). Tenjo (Cundinamarca) y Firavitoba (Boyacá).
- Díaz, G. M., Lencinas, J. D., & Del Valle, H. (2014). Introducción a la fotografía hemisférica en ciencias forestales. En G. M. Díaz, J. D. Lencinas, & H. Del Valle, *Madera y Bosques* (págs. 109-117). Primavera.
- Fischer, G., Casierra, F., & Villamizar, C. (2010). Producción forzada de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) en el altiplano tropical de Boyacá (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 19-32.
- Frazer, G., Canham, C., & Lertzman, K. (1999). *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program*. Canada.
- Hernandez, M., Montes, F., Viscasillas, A., Blanco, S., & Cañellas, I. (2009). Evolución del índice de área foliar en plantaciones de chopo con fines energéticos. En S. J. LEÓN, *sociedad española de ciencias forestales* (págs. 1-11). Madrid.
- Herrera, J., Martínez, A., Gutiérrez, A., Gutiérrez, M., Luna, J., Duran, E., Elías, H. (2008). *Guía ilustrada al cultivo del Duraznero en le estado Michoacán*. Michoacán.
- Mauro, G., Lencinas, J. D., & Del Valle, H. (2014). Introducción a la fotografía hemisférica en ciencias forestales. En G. Mauro, J. D. Lencinas, & H. Del Valle, *Madera y Bosques* (págs. 109-117). Primavera.
- Miranda, D., Fischer, G., & Carranza, C. (2013). *los frutales caducifolios en Colombia*. Bogotá : Equilibrio Gráfico Editorial Ltda.
- Peñaranda, G. (2012). ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PRODUCCIÓN DE DURAZNO (PRUNUS PÉRSICA) EN LA PROVINCIA DE PAMPLONA. *Revista de la Facultad de ciencias Economicas y Empresariales*, 145-162.
- Perez, S. (2007). Ecofisiología, mejoramiento genético y manual para su cultivo. En S. Perez, *Unidad de investigación tecnologica sistema-producto Durazno* (pág. 102). Queretaro.
- Quevedo, E. (2008, 2009, 2010, 2011). . *Base de datos del proyecto Desarrollo de un modelo en aspectos fisiológicos del Duraznero, (Prunus persicae (L) Batsch) para predecir el comportamiento del cultivo en la provincia de Pamplona Norte de Santander*. Pamplona.

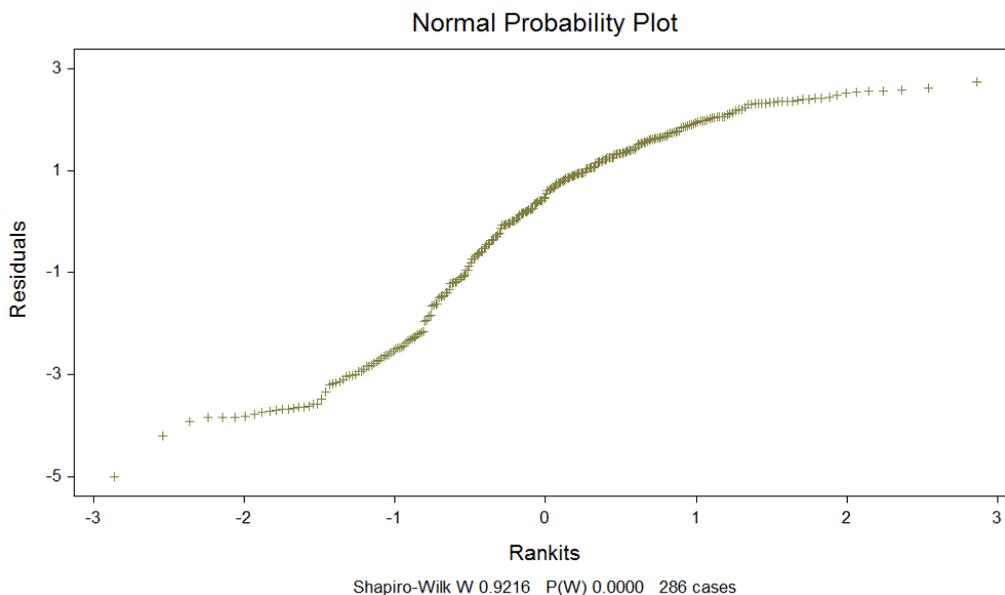
- Quevedo, E., Arévalo, M. E., & Cancino, G. O. (2012). DETERMINACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR Y PESO SECO DEL LIMBO DE *Prunus persica* CV. Jarillo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.
- Quevedo, E., Arévalo, M. E., & Cancino, G. O. (2012). DETERMINACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR Y PESO SECO DEL LIMBO DE *Prunus persica* CV. Jarillo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 6605-6613.
- Quevedo, E., Arévalo, M. E., & Zuleta, W. E. (2012). Aspectos fisiológicos del árbol de duraznero relacionados con su manejo agronómico en Pamplona. En C. Carranza, D. Miranda, & G. Fischer, *Seminario Internacional de Frutales Caducifolios en el Trópico* (págs. 142-143). Bogotá.
- Villamizar, C. (2007). DESARROLLO DE UN MODELO EXPERTO PARA PREDECIR EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y LA PRODUCCIÓN DEL DURAZNERO (*Prunus pérsica* (L.) Batsch) EN LOS PRINCIPALES MUNICIPIOS PRODUCTORES DEL NORTE DE SANTANDER. *FORMATO PARA PROGRAMA Y PROYECTOS, Versión 2007*, 1-53.
- Villamizar, C., Peñaloza, D. Y., & Flórez, D. F. (2012). Memorias Seminario Internacional de Frutales Caducifolios en el Trópico. En C. Carranza, D. Miranda, & G. Fischer, *Seminario Internacional de Frutales Caducifolios en el Trópico* (págs. 88-90). Bogotá.
- Villamizar, E. (2008). El Durazno un proceso de cambio en la Provincia de Pamplona. *Revista FACE Universidad de Pamplona*, 189-203.
- Zuleta, W. (2011). *Evaluación del desarrollo y rendimiento agronómico del duraznero variedad amarillo criollo (P. persica (L.) Batsch) en cinco localidades en la provincia de Pamplona*. Norte de Santander.

12 Anexos

Anexo 1. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) de los dos métodos (directo e indirecto) con respecto a días después de defoliación (DDD)



Anexo 2. Prueba de normalidad a los datos de IAF de los dos métodos (directo e indirecto)



Anexo 3. Prueba T- Student para dos muestras independiente

Pruebas t de dos muestras de la IAF por METODO

METODO	Media	N	SD	SE
Directo	5.9421	143	1.6209	0.1355
Indirecto	4.5614	143	2.1815	0.1824
Difference	1.3807			

CI for Difference 95%

Suposicion	T	DF	P	Inferior	Superior
varianzas iguales	6.08	284	0.0000	0.9333	1.8281
desigual varianzas	6.08	262.2	0.0000	0.9332	1.8282

Anexo 4. ANOVA de un factor aplicado a datos de IAF

Fuente	DF	SS	MS	F	P
METODO	1	136.30	136.303	36.9	0.0000
Error	284	1048.86	3.693		
Total	285	1185.16			

Gran media 5.2517 CV 36.59

	Chi-Sq	DF	P
Prueba de varianzas iguales de Bartlett	12.3	1	0.0005
Q de Cochran	0.6443	Mayor Var / Var más pequeño	1.8113

Anexo 5. Las comparaciones Prueba de Tukey HSD todo por parejas prueba de IAF por método

METODO	Media	Grupos homogeneos
Directo	5.9421	A
Indirecto	4.5614	B

Alfa 0.05

Anexo 6. Medias de los dos métodos directo e indirecto

