



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

DETERMINACIÓN DE LA FENOLOGÍA FOLIAR MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS, DEL BOSQUE SECO EN LA TRANSICIÓN ÉPOCA SECA Y LA TERMINACIÓN DE LA ÉPOCA DE LLUVIA, EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA, CANTÓN MACARÁ

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

AUTORA:

María Priscila Cabrera García

DIRECTOR:

Ing. Edwín Alberto Pacheco Pineda, Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERA FORESTAL**

Ing. Edwin Alberto Pacheco Pineda, Mg. Sc

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que en calidad de director de la tesis titulada **“DETERMINACIÓN DE LA FENOLOGÍA FOLIAR MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS HEMISFERICAS, DEL BOSQUE SECO EN LA TRANSICIÓN ÉPOCA SECA Y LA TERMINACIÓN DE LA ÉPOCA DE LLUVIA, EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA, CANTÓN MACARÁ”** de autoría de la egresada María Priscila Cabrera García, ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 13 de Abril del 2016

Atentamente,



Ing. Edwin Alberto Pacheco Pineda, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERA FORESTAL**

CERTIFICACIÓN

**“DETERMINACIÓN DE LA FENOLOGÍA FOLIAR MEDIANTE LA
INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS, DEL BOSQUE SECO
EN LA TRANSICIÓN ÉPOCA SECA Y LA TERMINACIÓN DE LA ÉPOCA DE
LLUVIA, EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA, CANTÓN MACARÁ”**

TESIS DE GRADO

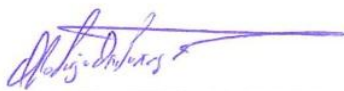
Presentada al Tribunal calificador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA FORESTAL

APROBADA POR:



Ing. William Zury Ocampo Mg. Sc.
PRESIDENTE



Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc.
VOCAL



Ing. Deicy C. Lozano Sivilisaca, Mg. Sc.
VOCAL

AUTORÍA

Yo, María Priscila Cabrera García, declaro ser la autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de los posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autora: María Priscila Cabrera García

Firma: 

Cédula: 1104816713

Fecha: 13 de Abril del 2016


**CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, **María Priscila Cabrera García**, declaro ser la autora del presente trabajo de tesis titulada **“DETERMINACIÓN DE LA FENOLOGÍA FOLIAR MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS, DEL BOSQUE SECO EN LA TRANSICIÓN ÉPOCA SECA Y LA TERMINACIÓN DE LA ÉPOCA DE LLUVIA, EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA, CANTÓN MACARÁ”** como requisito para optar al grado de: Ingeniera Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 13 días del mes de abril. Firma la autora.

Firma:


Autor: María Priscila Cabrera García

Cedula: 1104816713

Dirección: Cantón Loja

Correo electrónico: mary.priscg@gmail.com

Teléfono: 0986270241

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Edwin Alberto Pacheco Pineda, Mg. Sc

Tribunal de grado: Ing. William Zury Ocampo Mg. Sc.

Ing. Oscar Ordóñez Gutiérrez, Mg. Sc.

Ing. Deicy C. Lozano Sivisaca, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todos quienes hicieron posible la realización y culminación de la presente investigación

La Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a través de la Carrera de Ingeniería Forestal y a sus excelentes docentes por haber contribuido con los conocimientos teóricos-técnicos para mi formación profesional.

Ing. Edwin Pacheco por su paciencia en la dirección y asesoramiento de esta investigación, y que además, contribuyó a mi formación profesional con sus valiosos consejos.

Agradezco al tribunal de grado integrado por los ingenieros forestales William Zury Ocampo, Oscar Ordoñez Gutiérrez y Deicy Lozano Sivisaca por sus oportunas sugerencias que permitieron enriquecer y reforzar la presente tesis.

Ing. Eduardo Cueva, Fundación Naturaleza & Cultura Internacional y la Universidad de Goettingen por su colaboración, información, apoyo logístico, e instrumentos complementarios que fueron necesarios en la realización de esta investigación.

A mi familia, compañeros y amigos que de una u otra manera me apoyaron de forma desinteresada en el desarrollo y culminación de la presente investigación.

El Autor

DEDICATORIA

*Se lo dedico principalmente al forjador de mi camino, a mi padre celestial por la fortaleza, sabiduría y paciencia que me ha concedido, para llegar a esta etapa de mi vida. A mis amados padres **Luis Cabrera** y **María Piedad García** por sus consejos, enseñanza, amor y por su apoyo incondicional que me ha permitido alcanzar este importante momento de mi formación profesional.*

*A mis herman@s y sobrin@s que siempre han estado presentes acompañándome. Mi esposo querido **Jorge Reategui** por sus palabras, confianza, por su amor y tiempo que han permitido superarme cada día más y juntos poder superar las dificultades que se nos han presentado. **Damaris** y **Eydan** mis queridos hijos mi fuente de fortaleza mi compañía en momentos difíciles mis motores que me animan a seguir adelante a pesar de las adversidades.*

A mis amigo y compañeros, gracias por ese compañerismo y momentos compartidos durante nuestra vida universitaria.

Gracias a todos.

María Priscila Cabrera García

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
CERTIFICACIÓN:	II
CERTIFICACIÓN:	III
AUTORÍA	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
RESUMEN	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ECOSISTEMA BOSQUE SECO	3
2.1.1 LOS BOSQUES SECOS TROPICALES DEL SUR DEL ECUADOR	3
2.2.2. FENOFASE.....	5
2.2.3. FENÓMENOS FENOLÓGICOS	5
2.2.3.1. BROTAÇÃO Y FOLIACIÓN.....	5
2.2.3.2 DEFOLIACIÓN	5
2.2.3.3 FLORACIÓN	6
2.2.1.4 FRUCTIFICACIÓN	6
2.2.1.5. FENOLOGÍA FOLIAR	7
2.3 EL ESTRÉS HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON LA FENOLOGÍA	7
2.4 FOTOGRAFÍA HEMISFÉRICA	8
2.4.1. HISTORIA DE LA FOTOGRAFÍA HEMISFÉRICA.....	11
2.4.2. SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍA HEMISFÉRICA.....	12
2.4.2.1. SOFTWARE CAN_ EYE.....	13
2.5. ESTUDIOS DE CASO CON EL USO DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS	16
3. METODOLOGÍA.....	20
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
3.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA FENOLOGÍA FOLIAR DE ESPECIES CADUCIFOLIAS DURANTE EL PERÍODO DE TRANSICIÓN DE LA ESTACIÓN SECA HASTA LA TERMINACIÓN DE ÉPOCA DE LLUVIA	21
3.2.1 DISEÑO DEL TERRENO	21

3.2.2 AJUSTES DE LA CÁMARA	22
3.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
3.3. METODOLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE LA INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO POR LUISE EN EL 2014, SOBRE FENOLOGÍA FOLIAR DE ESPECIES CADUCIFOLIAS DURANTE EL PERÍODO DE TRANSICIÓN DE LA ESTACIÓN LLUVIA HASTA LA TERMINACIÓN DE ÉPOCA SECA, REALIZADA EN LA RESERVA LAIPUNA.....	24
3.4. METODOLOGÍA PARA LA DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ...	24
4. RESULTADOS	25
4.1. FENOLOGÍA FOLIAR DE ESPECIES CADUCIFOLIAS DURANTE EL PERÍODO DE TRANSICIÓN DE LA ESTACIÓN SECA HASTA LA TERMINACIÓN DE ÉPOCA DE LLUVIA	25
4.1.1. ÍNDICE DE ÁREA EFECTIVA FOLIAR (LAI) Y VEGETACIÓN VERDE.....	26
4.1.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
4.1.3.1. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE VEGETACIÓN DE ACUERDO A LAS VARIABLES DE CLASIFICACIÓN	31
4.1.3.2. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE ÁREA DE LÁMINA FOLIAR EFECTIVA DE ACUERDO A LAS VARIABLES DE CLASIFICACIÓN.....	33
4.2. COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE LA INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO POR BETTAC LUISE EN EL 2014, SOBRE FENOLOGÍA FOLIAR DE ESPECIES CADUCIFOLIAS DURANTE EL PERÍODO DE TRANSICIÓN DE LA ESTACIÓN LLUVIA HASTA LA TERMINACIÓN DE ÉPOCA SECA, REALIZADA EN LA RESERVA LAIPUNA.....	35
5. DIFUSIÓN DE RESULTADOS	37
6. DISCUSIÓN	38
6.1.1. ÍNDICE DE ÁREA EFECTIVA FOLIAR (LAI) Y VEGETACIÓN VERDE.....	38
6.1.3. RELACIÓN ENTRE LA FOLIACIÓN DE ESPECIES CADUCIFOLIAS CON LOS FACTORES CLIMÁTICOS DE LA ZONA.....	39
6.1.3.1. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	39
6.1.3.2. HUMEDAD RELATIVA Y RADIACIÓN.....	40
7. CONCLUSIONES	41
8. RECOMENDACIONES	42
9. BIBLIOGRAFIA	43
10. ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Listado de software para el análisis de fotografías hemisféricas	13
Cuadro 2. Resultados del análisis de las fotografías hemisféricas	17
Cuadro 3. Especies Monitoreadas En Las Parcelas	18
Cuadro 4. Índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de las tres parcelas	26
Cuadro 5. Nivel de significación de las variables de clasificación a la variable de respuesta	31
Cuadro 6. Distribución de las medias de la vegetación con respecto en las tres parcelas: (Alta, Media y Baja)	31
Cuadro 7. Distribución de las medias de la vegetación con respecto a las fechas en donde se monitoreo la fenología.....	32
Cuadro 8. Nivel de significación de las variables de clasificación a la variable de respuesta	33
Cuadro 9. Distribución de las medias de la LAI con respecto en las tres parcelas: (Alta, Media y Baja)	33
Cuadro 10. Distribución de las medias de la vegetación con respecto a las fechas en donde se monitoreo la fenología.....	34
Cuadro 11. Análisis de varianza de la variable área de lámina foliar con respecto a la estacionalidad	36
Cuadro 12. Análisis de varianza de la variable vegetación con respecto a la estacionalidad	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de captura de una fotografía hemisférica	10
Figura 2. Dinámica estacional de LAI de diferentes métodos en todas las diferentes temporadas en bosques latifoliados caducifolios	19
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio	20
Figura 4. Descripción de las parcelas y subparcelas de muestreo.....	21
Figura 5. Distribución de las parcelas	22
Figura 6. Imágenes hemisféricas de los 9 puntos de muestreo con los recortes de troncos y ramas (17 de febrero 2015) en la parcela Alta (A), Media (B) y Baja (C). 25	
Figura 7. Imágenes hemisféricas de los 9 puntos de muestreo con la discriminación de pixeles: rojo= cielo/suelo y verde= vegetación (17 de febrero 2015) en la parcela Alta (A), Media (B) y Baja (C)	25
Figura 8. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela baja del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015.....	27
Figura 9. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela media del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015.....	28
Figura 10. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela alta del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015.....	28
Figura 11. Relación de la foliación con temperatura y precipitación del área de estudio (17 diciembre, 2014- 12 marzo, 2015).....	29
Figura 12. Relación de la foliación con humedad relativa y radiación del área de estudio (17 diciembre, 2014- 12 marzo, 2015)	30
Figura 13. Prueba “t” pareada para la variable vegetación y LAI de las dos temporadas	35
Figura 14. Difusión de resultados a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal.	37
Figura 15. Artículo científico, para la publicación del trabajo de investigación	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela alta.....	50
Anexo 2. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela alta.....	51
Anexo 3. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela alta.....	52
Anexo 4. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela media.....	53
Anexo 5. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela media.....	54
Anexo 6. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela media.....	55
Anexo 7. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela baja.....	56
Anexo 8. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela baja.....	57
Anexo 9. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela baja.....	58
Anexo 10. Resultados de la parcela "Alta" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.	59
Anexo 11. Resultados de la parcela "Media" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.....	60
Anexo 12. Resultados de la parcela "Baja" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.	61
Anexo 13. Resultados de la prueba “t” pareada para las variables vegetación y LAI con respecto a las dos estacionalidades.....	62

**DETERMINACIÓN DE LA FENOLOGÍA FOLIAR MEDIANTE
LA INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS,
DEL BOSQUE SECO EN LA TRANSICIÓN ÉPOCA SECA Y LA
TERMINACIÓN DE LA ÉPOCA DE LLUVIA, EN LA RESERVA
NATURAL LAIPUNA, CANTÓN MACARÁ**

RESUMEN

La investigación sobre fenología foliar mediante el uso de fotografías hemisféricas, se desarrolló en la Reserva Natural Laipuna de la parroquia Larama en el cantón Macará, donde están instaladas tres parcelas a diferentes pisos altitudinales (Zona alta 1082 msnm, Zona media 855 msnm y Zona baja 710 msnm) de 60 x 60 m, subdivididas en 9 subparcelas de 20 x 20 m. Para la toma de fotografías hemisféricas se utilizó una cámara digital con un lente teleobjetivo gran angular (ojo de pez), ubicada en el centro de cada subparcela donde se realizó un seguimiento a las fases fenológicas de transición del bosque durante la temporada seca a lluviosa. Se utilizaron las fotografías hemisféricas que fueron analizadas de forma simultánea para todos los nueve puntos de muestreo por parcela y día de observación mediante el software Can Eye, que previo a un recorte de los troncos y ramas de los árboles se obtuvo una discriminación de píxeles que permitió obtener variables como porcentaje de vegetación y área de lámina foliar efectiva. Como resultados se obtuvo que al comenzar la toma de fotografías en el mes de diciembre en las parcelas de las zonas baja y media existe una relación similar en las variables de vegetación verde y el índice de área efectiva foliar respectivamente, mientras que para la parcela de la zona alta se presentan valores mayores con respecto a las dos variables. Estas diferencias se justifican por su diversidad funcional, debido a factores ambientales y a especies que se distribuyen en las parcelas. Todo con una reposición de follaje del 57,50 % y 1,10 de Índice de área foliar efectiva hasta el mes de marzo, con una temperatura constante de 27,62°C. Además, se esperó que los patrones fenológicos estén asociados a la estacionalidad, pero algunos individuos de *Ceiba trichistrandra* ya se encontraban con follaje en el dosel. Respecto a la existencia o no de diferencias entre parcelas, fechas y puntos de muestreo con la fenología foliar, se obtuvieron las medias de las variables permitiendo observar diferencias significativas en parcelas y fechas, mientras que entre puntos de observación las diferencias no son significativas por la cercanía de los mismos. Los datos del estudio de Bettac Luise (en el 2014) referente al porcentaje de vegetación y área foliar y la presente investigación, permitió realizar la prueba “t” apareada con un análisis de varianza que reflejó las diferencias entre la estacionalidad manifestada en la fenología foliar. Para la variable del área de lámina foliar se determina que en la parcela de la zona alta no existen diferencias entre las dos estacionalidades, pero para las parcelas de las zonas media y baja se determinan diferencias significativas encontrando valores más altos en la temporada lluviosa-seca.

ABSTRACT

The investigation about leaf phenology using hemispherical photographs, was developed in the “Natural Reserve Laipuna” on Larama palish; Macará, where three plots are installed (high, middle and low) of 60x60 m, subsection on 9 subplots of 20x20m. Hemisphere photographs were taking by digital camera with canon fisheye lens, It was located in the center of each plot where the forest transition from dry to rainy season was traced. I has been used hemispheric photography, it was analyzed at the same time for all the nine points of sampling plots and observation day through Can Eye software, previously to a trunk cut and tree branches I get a pixel clear distinction allowing obtain variables as percentage of vegetation and LAI. I has been founded as a result; to the begin photography shoot in December in the low and middle plot there was a similar relationship in the vegetative green variables and LAI respectively, while for the high land values higher occurs two variables; these differences were justified for their functional diversity: because of their environmental factors and the distribution of the species in the plots. All with a foliage return of 57, 50 % and 1, 10 of LAI until March with a constant temperature of 27, 62°C. I also hoped that the Phenological patterns and seasonality were associated, but some individuals of *Ceiba trichastandra* were already with foliage in the canopy. Regarding to the existence of differences between plots; dates, sample points and the foliar phenology, I did obtain the measure variables, it allowed to observe significant differences in plots and dates, while between observation places, the differences weren't significant for their proximity. The study data Bettac Louis (in 2014) concerning to the vegetation percentage and LAI in this investigation, allowed a "t" paired with an analysis of variance reflects differences between seasonality expressed in leaf phenology. For variable LAI, you could determine that in the high plot there weren't differences between the two average seasonality but for middle and low plots you would establish significant differences determining highest values in the rainy-dry season.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques secos en el Ecuador se encuentran ubicados en la costa, centro y sur desde la provincia de Manabí y El Oro incluyendo Loja y, tiene una superficie aproximada de 28 000 Km², lo que representa el 35 % de los bosques del país (Sierra *et al.*, 1999; Lamprecht, 1990; Aguirre y Delgado 2005). Los bosques secos del suroccidente de la provincia de Loja se ubican en áreas con una alta presencia humana, la cual representa el 60 % de la población rural de la provincia (Aguirre y Delgado 2005). La degradación de estas zonas se deben a que estas formaciones se encuentran sobre suelos aptos para la producción agrícola, por lo que han sido intervenidos (Aguirre, 2006).

Actualmente uno de los principales problemas que estamos enfrentado es el cambio climático, el cual afecta directamente a todos los bosques del mundo, debido a que existen plantas que requieren de factores ecológicos necesarios para su desarrollo como valores límites mínimos, óptimos y máximos de temperatura, que pueden alterar las fases fenológicas de las especies forestales (Taiz y Zeiger, 2006). Sumado a esto particularmente los bosques secos tropicales son considerados como los biomas más frágiles del planeta, debido a la lenta capacidad de regeneración y a la persistente amenaza de deforestación y fragmentación por causas naturales o antropogénicas, así como su particular característica donde gran parte de las especies vegetales pierden estacionalmente sus hojas (Janzen, 1988).

En la Región Sur del Ecuador, especialmente en la provincia de Loja, los bosques secos se encuentran en constante presión por actividades agrícolas y ganadera, principalmente la caprina misma que depende en gran medida del bosque, afecta la regeneración natural, alterando de esta manera la dinámica del bosque, produciendo consecuencias negativas, las plantas comestibles que se correlaciona con la disminución de la capacidad de recuperación natural de las especies vegetales de estos ecosistemas (Aguirre y Delgado 2005; Paladines, 2003).

Debido al estado de amenaza que presentan los bosques secos, se ha visto la necesidad de instituir la información científica sobre dinámica y fenología de las especies de los bosques secos, su importancia y valor. El estudio fenológico de las especies arbóreas, ayuda al conocimiento y comprensión de patrones fenológicos de especies en ecosistemas

naturales y es básico en estudios ecológicos sobre biodiversidad, productividad, organización de las comunidades, convirtiéndose en una herramienta de gran utilidad en la elaboración de planes de protección de fauna y flora. (Finegan, 1992)

Debido a la escasa información de estudios sobre fenología foliar en el país, se ha determinado la necesidad de realizar el presente trabajo de investigación en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna para lo cual se contó con el apoyo logístico de la Fundación Naturaleza & Cultura Internacional y la Universidad de Goettingen, dentro del proyecto “**El consumo de agua y la captura de carbono en un bosque caducifolio de montaña como indicadores funcionales de los cambios ambientales en el sur de Ecuador**”, utilizando fotografías hemisféricas, que permitió determinar la fenología foliar del bosque, el índice de área foliar, el incremento o descenso de la foliación en el bosque respecto a la estacionalidad climática y las diferencias en el proceso fenológico con la estacionalidad dentro de los meses de diciembre, enero, febrero y mediados del mes de marzo.

Los objetivos propuestos para realizar esta investigación fueron los siguientes:

Objetivo general

- Contribuir al conocimiento sobre el comportamiento fenológico foliar del bosque tropical seco de la Región Sur del Ecuador.

Objetivos específicos

- Determinar la fenología foliar de especies caducifolias durante el período de transición de la estación seca hasta la terminación de época de lluvia.
- Comparar los datos de la presente investigación con los resultados del estudio realizado por Bettac Luise en el 2014, sobre fenología foliar de especies caducifolias durante el período de transición de la estación lluvia hasta la terminación de época seca, realizada en la Reserva Laipuna.
- Difundir los resultados de la investigación a los actores sociales interesados, para su conocimiento e información.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ecosistema Bosque Seco

2.1.1 Los bosques secos tropicales del sur del Ecuador

Estos bosques son considerados ecosistemas caducifolios ya que más del 75% de las especies vegetales pierden estacionalmente sus hojas durante los meses secos que fluctúan entre tres y ocho, con un promedio de lluvia anual la precipitación de 400-900 mm/año y una temperatura que varía entre 20 y 27°C. Sin embargo, esto no implica que se produzca un auténtico periodo de descanso, ya que muchas especies florecen y fructifican en esa época (Lamprecht, 1990).

Las especies vegetales características de los bosques secos pluvioestacionales son: *Ceiba trichistandra*, *Cavanillesia platanifolia*, *Eriotheca ruizi*, *Tabebuia chrysantha*, *Cordia lutea*, *Terminalia valverdae*, *Machaerium millei*, *Cochlospermum vitifolium*, *Bursera graveolens*, *Coccoloba ruiziana*, *Caesalpinia glabrata*, *Piscidia carthagenensis*, *Pithecellobium excelsum* y especies de cactáceas como *Armatocereus cartwrightianus*, *Opuntia ficus indica* y *Enpostoa lanata* (Aguirre *et al.*, 2001, Aguirre *et al.*, 2006, Aguirre y Kvist, 2009).

Aguirre *et al.* (2001), manifiestan que los Bosques Secos son ecosistemas de biodiversidad única y con un alto grado de endemismo entre ellas: *Ceiba trichistandra*, *Eriotheca ruizii*, *Tabebuia chrysantha*, *Cordia macrantha*, *Terminalia valverdae*, *Piscidia carthagenensis*, etc.

Estos bosques en su conjunto constituyen un tipo de vegetación frágil, que se desarrollan en condiciones climáticas extremas y soportan una fuerte alteración y sobreexplotación por parte del hombre, resaltando que la mayoría de la población se dedica a la crianza extensiva de ganado especialmente caprino, por tal razón han sido intervenidos, existiendo en la actualidad pequeños relictos (Aguirre y Delgado 2005).

2.2 Fenología

La fenología es el estudio de los fenómenos cíclicos o periódicos en las vidas de los organismos, en relación a la variación del ambiente. Con respecto a las plantas, los fenómenos cíclicos más estudiados es la fenología foliar que abarca la producción de

hojas nuevas y la caída del mantillo. El factor ambiental que más frecuentemente se intenta relacionar a estos eventos fenológicos es la variación estacional del clima, y normalmente se presta atención a la posibilidad de que los eventos fenológicos se presentan en el tiempo de una manera que representa ajuste de la especie a su ambiente, ganándose alguna ventaja.(Finegan, 1992). Complementando a lo anterior a esto Ortiz y Fournier 1982, expresan que la comprensión de las características fenológicas de los bosques tropicales es de gran importancia para el racional aprovechamiento de las comunidades forestales las cuales son muy diversas en su estructura y composición florística.

Otra definición importante es la de De Fina y Ravelo (1985), puntualizan a la fenología como la rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones climáticas. Investigadores temáticos en la fenología estudia la defoliación, brotación, floración, fructificación, etc.

Castillo y Castro (1989), sostienen que el registro de la variación de las características fenológicas de los arboles es de suma importancia no solo en autocomprensión de la dinámica de las comunidades forestales sino también como un indicador de la respuesta de estos organismos a las condiciones climáticas. Reich y Borchert (1984), mencionan que después de un estudio fenológico durante un año, en 20 especies en Guanacaste, Costa Rica, los patrones de desarrollo de los árboles tuvieron una alta correlación con la variación estacional de la disponibilidad de agua del árbol e indirectamente, con la del medio ambiente. No se encontraron evidencias de la influencia de las variaciones estacionales de fotoperiodo y temperatura sobre el desarrollo de los árboles.

El estudio fenológico de las especies forestales es de vital importancia para conocer eventos como la floración y fructificación, es decir, la fenología se ha transformado en una herramienta importante para descifrar respuestas de los arboles frente a los cambios climáticos, estudio que es primordial en aquellas especies forestales nativas dado su importancia económica, por ejemplo, la comercialización de leña, madera, además percibir la continuidad de los procesos ecológicos en sus hábitats como la protección de cuencas hidrográficas y mantenimiento de los procesos naturales (Prado y Valdebenito 2000).

2.2.2. Fenofase

La aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de la planta se llama fase. Dado que entre la sucesión de fenómenos meteorológicos y la sucesión de las fases de las especies vegetales debe existir una exacta coincidencia de condiciones climáticas, se dice que las plantas en fenología desempeñan un papel análogo al de los aparatos registradores en meteorología (De Fina y Reveló 1985). Dentro de este tema se complementa que para un estudio fenológico se deberían tomar en cuenta los acontecimientos fenológicos: fase y fecha (Castillo y Castro, 1989)

Fase: es la reacción de los vegetales ante los cambios del medio circundante mediante la aparición, transformación o desaparición de órganos, brotes, frutos y etc.

Fecha: es de gran importancia ya que la fenología registra fundamentalmente la fecha en que se producen las fases. La determinación de la fecha en que se produce una definida fase se denomina fenodata. En la fenología se trazan isofenas que son las líneas que unen los puntos donde el fenómeno de la naturaleza (fase) tiene lugar a la misma fecha.

2.2.3. Fenómenos fenológicos

2.2.3.1. Brotación y Foliación

Las hojas se originan en los meristemas apicales de tallo. Su formación está estrechamente asociada a la construcción del tallo. El desarrollo de la hoja está ligado inicialmente a la aparición de los primordios foliares en el ápice, luego depende de factores ambientales para que estos se mantengan en la planta (Hay y Kemp, 1990). Es un fenómeno en el que se desarrollan brotes en las yemas terminales de la planta para iniciar la nueva hoja (Fournier, 1976). Según, Suárez (1995) la aparición y desarrollo de las hojas de una planta, posee una estrecha relación con los patrones estacionales climáticos.

2.2.3.2 Defoliación

Es el desprendimiento natural de las hojas, principalmente de los árboles y arbustos, debido a los cambios bruscos en el ambiente o provocados por plagas e insectos (Font Quer, 1953). La anatomía de la hoja se encuentra influenciada por factores ambientales siendo la disponibilidad de agua y condiciones de iluminación de primordial importancia.

Los cambios se presentan en la estructura interna o en la organización de los tejidos, la distribución, tamaño, posición, número, densidad y estructura de los estomas así como el grosor de las hojas. El grupo de plantas que se desarrollan en climas tropicales, secos y húmedos, han desarrollado una anatomía denominada “Kranz”, que se caracteriza por tener parénquima clorofílico en empalizada y cloroplastos en este con una vaina perivascular (Rodes y Collazo, 2006).

2.2.3.3 Floración

Es el desarrollo de las flores, desde el momento de la anthesis de las más precoces hasta la marchitez de las más tardías, de un individuo vegetal o de una especie, considerada en una determinada localidad (Font Quer, 1953). Para Machado (1996), cree que las condiciones fisiológicas que tienden a ser favorables como humedad, temperatura y luz permiten la iniciación de la floración de los árboles forestales a intervalos convenientes regulares.

Según Theodore (1982), la edad en que los árboles comienzan a florecer y la fecha de inicio de la floración varían considerablemente entre los individuos de la misma especie que crecen dentro de un rodal que puede explicarse en términos genéticos al realizar alto nivel de control genético que permite al fitomejorador reducir la edad usual de la floración de las especies, existen ciertas tendencias definidas que se relacionan con los cambios de latitud y altitud justificando que a medida que la altitud se hace más boreal la formación de las yemas se retrasa en el año a una tasa aproximada de cinco días por cada grado de latitud. A medida que aumenta la altitud la iniciación de las yemas se va retrasando.

2.2.1.4 Fructificación

Este fenómeno comprende la aparición inicial del fruto y su retención hasta la madurez, el fruto es fértil cuando produce semillas viables. La fructificación es influida por varios factores externos como: los nutrientes; podas, injertos, aspersiones hormonales, la localidad, la estación, la edad, el vigor de las plantas y, diferentes factores abióticos y su relación en las diferentes fases (Ríos y Ríos, 2000).

Halley y Smith 1982, manifiesta que los árboles por lo general no producen una cosecha de semillas cada año sino que existe una cierta periodicidad cíclica en la producción de semilla que manifiesta como una cosecha muy abundante en un año seguido de un periodo

variable en el cual la producción es baja. Al igual que los factores que influyen sobre la periodicidad y fructificación. Theodore (1982), dice que una vez que se forman las yemas reproductivas su evolución hasta la formación de semillas maduras y variables depende de la influencia que sobre ella ejercen: la calidad del sitio, clima, causas fisiológicas, nivel de carbohidratos, nivel de nitrógeno, biota insectos enfermedades aves y mamíferos.

2.2.1.5. Fenología foliar

La fenología se ha definido como el tiempo de los eventos biológicos y su relación con los cambios climáticos estacionales. Esta definición caracteriza efectivamente el calendario de eventos de temporada en las regiones templadas, donde los patrones de aparición de hojas y la longevidad de las hojas que parecen estar regidos principalmente por las temperaturas y estas cambian según la temporada (Koriba 1948; Boojh 1982; Lowman 1992; Kikuzawa 1994).

La fenología foliar, que puede ser redefinida como la disposición de las hojas en el tiempo, también podría considerarse como un aspecto de la estrategia de captación de luz en las plantas. Dado que las plantas captan la luz mediante la ampliación de las hojas para obtener energía y para producir materia orgánica, la disposición de las hojas en el tiempo y el espacio debe ser un elemento central de cualquier estrategia de ganancia de carbono de las plantas. Estos tres puntos por lo general deben ser consideradas en el estudio de la fenología foliar (Kikuzawa, 1994): la longevidad de la hoja, el hábito de la hoja, y el calendario de aparición de las hojas. Y no siempre la fenología foliar está determinada únicamente por las condiciones climáticas.

2.3 El Estrés Hídrico y su Relación con la Fenología

Un concepto fundamental en ecohidrología es que la fisiología de la planta está directamente unida a la accesibilidad al agua. Donde hay agua abundante como en el bosque húmedo tropical, las plantas en crecimiento son más dependientes de la accesibilidad a los nutrientes. Sin embargo, en áreas semiáridas, como en las sabanas africanas o los bosques secos, el tipo de vegetación y su distribución está directamente relacionado con la cantidad de agua que las plantas pueden extraer de la tierra (Tenhunen *et al*, 1985).

Cuando el agua del suelo es insuficiente, las condiciones de estrés hídrico ocurren. Las plantas bajo estrés hídrico tienen una menor capacidad de transpiración y fotosíntesis a través de una cantidad de respuestas, incluyendo el cierre de los estomas. Esta disminución en el flujo del agua del dosel y el flujo del dióxido de carbono puede tener un impacto en el clima y condiciones meteorológicas circundantes. Así el estrés hídrico o sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua (Grime, 2001).

La variación estacional de la forma de las plantas leñosas tiene interés para comprender sus mecanismos de tolerancia del estrés en los períodos desfavorables del año, lo que condiciona directamente los patrones fenológicos. Los cambios en la cantidad de biomasa viva de la planta suponen un mecanismo muy flexible y eficaz de ajuste de su cuerpo transpirante a una sequedad por un clima caluroso (Tenhunen *et al*, 1985). Sin embargo, la pérdida de ramas completas o partes importantes de las mismas constituye una fuerte perturbación que requiere mecanismos especializados de recuperación (Grime, 2001).

La eficiencia del mecanismo para evitar la pérdida de agua de las plantas está muy limitada por la talla y la morfología de la planta. Por ejemplo, los árboles grandes, cuyo crecimiento anual supone una pequeña proporción de la biomasa total viva, no pueden deshacerse de una parte importante de ésta en el período seco, ya que requerirían mucho más de una estación de crecimiento para reconstruirla. Por este motivo, las plantas heteromorfas estacionales, que pueden perder todos los años una parte importante de sus ramas vivas, deben ser de pequeño tamaño. Los árboles y grandes arbustos suelen perder anualmente algunas estructuras de fácil reposición, como son las hojas. Así, los caducifolios se desprenden de todo su follaje y los perennifolios aproximadamente de una cohorte de hojas (Eamus, 2006).

2.4 Fotografía Hemisférica

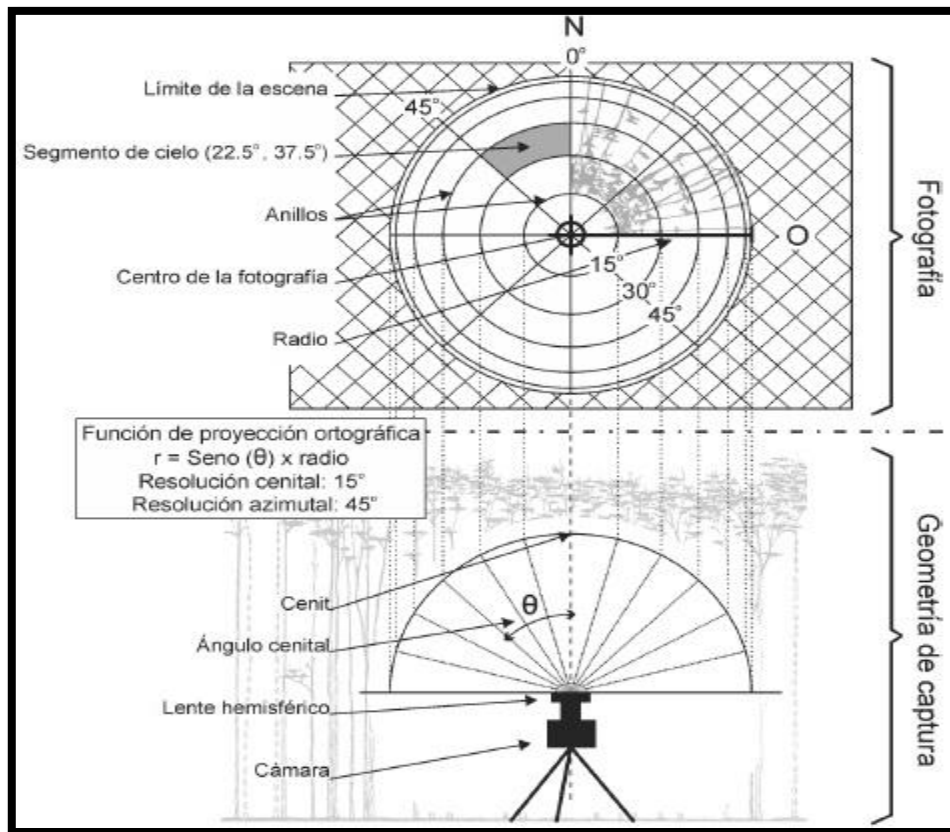
Fotografía hemisférica es una técnica para estimar la radiación solar y caracterizar la geometría de copa de la planta usando fotografías tomadas con un lente gran angular extremo que se encuentra en dirección al cielo (Rich, 1990).

Típicamente, el ángulo de visión se aproxima o es igual a 180 °, de tal manera que todas las direcciones del cielo son visibles simultáneamente. Las fotografías resultantes registran la geometría del cielo visible o por el contrario la geometría de la obstrucción

del cielo por dosel de las plantas u otros elementos cercanos a la tierra. Esta geometría puede medirse con precisión y se utiliza para calcular la radiación solar transmitida a través del dosel de las plantas, así como para estimar los aspectos de la estructura de la cubierta como el índice del área de hoja (Zhang *et al*, 2005). Los componentes de una radiación directos y difusos se calculan por separado. La radiación directa se calcula como la suma de toda la radiación procedente de direcciones visibles en el cielo a lo largo de la trayectoria del sol. Del mismo modo, la radiación solar difusa se calcula como la suma de toda la radiación difusa, procedentes de cualesquiera direcciones cielo visible (Rich, 1990).

En fotografía hemisférica se utilizan la proyección equidistante (también llamada polar o equiangular) y la equi-ángulo sólido (Equisolid-angle), en donde el ángulo cenital se traslada linealmente en la distancia desde el centro de la fotografía (r), por consiguiente, la distancia entre anillos es constante (Figura 1). En la equi-ángulo sólido las distancias se acortan hacia los bordes del círculo. Estas proyecciones son teóricas, la forma de la lente define el tipo de proyección y ésta suele no ser perfecta, por lo que cada lente tiene una función polinomial de ajuste (Schneider *et al.*, 2009).

En general, las fotografías hemisféricas producen una proyección de un hemisferio en un plano, la que variará dependiendo del lente óptico usado para la toma de la foto. Las fotografías son tomadas directamente hacia el dosel de copas, y con la parte superior de la cámara con orientación hacia el norte. En la imagen circular (180°) se puede apreciar una completa vista de todas las direcciones del cielo, con el cenit en el centro y los horizontes ubicados en los bordes de la foto. Conociendo la proyección que el lente óptico genera, es posible localizar precisamente cualquier abertura del dosel de acuerdo a su posición. Así, la fotografía se transforma en un mapa de posiciones de aberturas del dosel relativas a la posición desde donde la fotografía fue tomada (Promis y Cruz, 2009).



Fuente: Schneider et al., 2009

Figura 1. Esquema del proceso de captura de una fotografía hemisférica

Las fotografías hemisféricas son cruciales para una amplia gama de estudios que incluye la hidrología, el carbono y el ciclo de nutrientes, y el cambio global (Chen et al., 1997; Macfarlane et al., 2007; Chianucci y Cutini, 2013). Por esta razón, las propiedades del dosel del bosque son ampliamente utilizados en muchos programas de investigación a largo plazo y para el seguimiento del estado de los ecosistemas forestales (Macfarlane 2011; Chianucci y Cutini, 2013). Además, la disponibilidad de observaciones sobre las propiedades del dosel del bosque, tales como índice de área foliar y ligeras condiciones del bosque que son esenciales para calibrar información remota detectada a partir de datos transportados por el aire y por satélite (Rich 1990; Chianucci y Cutini, 2013).

Sin embargo, las mediciones directas de la cubierta forestal son particularmente difíciles de obtener, debido a las dificultades inherentes en la toma de mediciones directas de los bosques, altos niveles de variabilidad espacial y temporal, y dificultad de generalizar mediciones locales a la escala de paisaje (Chen et al., 1997; Macfarlane et al., 2007)

La recolección de árboles para mediciones directas en el bosque es mano de obra intensiva y destructiva, el tiempo y el dinero que consumen, y no puede ser aplicado áreas grandes (Chen et al., 1997). Alternativas y métodos menos destructivos basados en alometría del árbol y hojarasca se han desarrollado con el fin de medir las propiedades del dosel del bosque. Sin embargo, incluso estos métodos son de trabajo intensivo, no consume mucho tiempo mientras que la imagen hemisférica ofrece un registro permanente de la distribución de la geometría de la fracción de vacío, que se utiliza generalmente para calcular regímenes de luz forestales y propiedades de la copa tales como la apertura del dosel, índice de área foliar, la distribución angular de la hoja. Por lo tanto, la fotografía hemisférica puede expandir en gran medida el número de las propiedades del dosel que son posibles para estimar, en comparación con los otros métodos indirectos (Chianucci y Cutini, 2013).

A pesar de la reciente mejora en la fotografía digital, importantes obstáculos para la adopción de esta tecnología todavía permanecen; estimaciones precisas y significativas de las propiedades del dosel del bosque con fotografía hemisférica digital se obstaculiza por diferentes pasos críticos, en relación con la adquisición de imágenes y procesamiento de software.

2.4.1. Historia de la Fotografía Hemisférica

La primera lente semiesférica fue desarrollada por Hill (1924), para estudiar la formación de nubes. La primera aproximación a ojo de pez fotografía en la silvicultura fue luego provisto por Evans y Coombe (1959), que utiliza la fotografía hemisférica para describir la luz del medio ambiente bajo el dosel del bosque. Anderson (1966), utilizó fotografía hemisférica para calcular los componentes directos y dispersos de la radiación solar desde direcciones del cielo visible. Y como consecuencia, la fotografía de película hemisférica se ha utilizado durante mucho tiempo para estimar las propiedades del dosel del bosque (Anderson, 1966). Sin embargo, los obstáculos técnicos y teóricos que involucran muchos pasos que consumen tiempo han impedido que se amplié progresivamente la adopción de la fotografía hemisférica (Breda, 2003; Macfarlane et al., 2007; Chianucci y Cutini, 2013).

Recientemente, los avances en la tecnología y procesamiento de imágenes de software fotográfico digital, han dado lugar a una renovación del interés por la fotografía

hemisférica digital para la cuantificación del dosel forestal y sus propiedades (Breda, 2003, Macfarlane et al., 2007). Además, en los últimos años, numerosos paquetes de software comercial, así como programas gratuitos para el análisis del dosel, se han desarrollado (Frazer *et al.*, 1999; Jonckheere *et al.*, 2005). Estudios recientes confirmaron la veracidad de la fotografía hemisférica digital en la estimación de las propiedades del dosel forestal (Jonckheere et al., 2005; McLare et al., 2003; Ryu et al., 2010 Frazer et al., 1997). Por otra parte, las nuevas técnicas fotográficas han sido probados recientemente, lo que confirma la gran confianza en los datos de la fotografía digital (Macfarlane et al., 2007; Ryu et al., 2010; Chianucci y Cutini 2013). El método hace los siguientes supuestos:

- Las hojas se distribuyen al azar dentro de la copa.
- Tamaño de la hoja individual es pequeña en comparación con la cubierta y por lo tanto con el campo de visión del sensor.
- El follaje es negro, es decir, que no transmiten la luz y las hojas están orientadas acimutalmente al azar.

2.4.2. Software Para El Análisis De Fotografía Hemisférica

Los softwares comerciales más populares son Winscanopy y HemiView. Sus sistemas estándar incluyen una cámara digital, una lente de ojo de pez calibrado y un trípode autonivelado. Paquetes de software libre están disponibles para el análisis de imágenes hemisféricas como GLA (Gap Luz Analizador) y CAN-EYE. La mayoría de los estudios científicos sobre el método de fotografía hemisférica es la utilización basado en la determinación del umbral óptimo (HemiView, GLA, Winscanopy). CAN-EYE, también se usa ampliamente en entornos agrícolas, debido a su capacidad para realizar diferentes procedimientos de clasificación de píxeles, en comparación con el método de umbral Cuadro 2 (Chianucci y Cutini, 2013).

Cuadro 1. Listado de software para el análisis de fotografías hemisféricas

Software	Compañía	Clasificación en píxeles	Disponibilidad	Métodos de LAI
Winscanopy	Regente Instruments Inc, Quebec, Canada	Automático e interactivo (manual)	Comercial	57.5 ° (Bonhomme & Chartier 1972) LAI 200 (Miller 1967) Generalized LAI 2000 Elipsoidal (Nerma & Campbell 1989)
GLA	Cary Institute of Ecosystems studies, Millbrook, New York, US	Manual	Gratis	LAI 2000 (Miller 1967)
CAN-EYE	INRA (French National Institute of Agronomical research)	Automático e interactivo (manual)	Gratis	57.5 ° (Bonhomme & Chartier 1972) LAI 200 (Miller 1967)
HemiView	Delta-T Device Ltd. Cambridge, UK	Manual	Comercial	LAI 200 (Miller 1967)
Hemisfer	WLS Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research	Automático e interactivo (manual)	Comercial	57.5 ° (Bonhomme & Chartier 1972) LAI 200 (Miller 1967) Generalized LAI 2000 Elipsoidal (Nerma & Campbell 1989)

Fuente: Chianucci & Cutini, 2013

2.4.2.1. Software CAN_ EYE

CAN-EYE es un software libre desarrollado en el laboratorio EMMAH (Entorno Mediterráneo Y Agro-Hidro Sistema De Modelización) en el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA) de Francia. Este software es un producto didáctico hecho sólo para uso pedagógico está protegido en Francia por los Reglamentos de

Propiedad Intelectual y en el extranjero por los acuerdos internacionales sobre los derechos de autor (Weiss y Baret, 2014).

CAN-EYE es un software de imagen (que trabaja bajo Windows) utilizado para extraer las siguientes características de la estructura del dosel.

* LAI: Índice de Área Foliar

* ALA: Ángulo Normal de inclinación de la Hoja

* FAPAR: Fracción de la radiación absorbida fotosintéticamente activa

* FCOVER: Fracción de cobertura vegetal

CAN-EYE está diseñado para procesar varias imágenes a la vez con resultados óptimos. Las imágenes pueden ser imágenes RGB o binarizada. Puede ser utilizadas para este proceso: imágenes hemisféricas digitales, imágenes adquiridas con una cámara inclinada en $57,5^\circ$ respecto a la vertical e imágenes tomadas en vertical de la cámara para obtener FCOVER (Weiss y Baret, 2014).

a) Índice de área foliar

Índice de área foliar es una técnica de medición indirecta que se basa en la frecuencia de los contactos o la fracción grieta en las mediciones del dosel, es decir la probabilidad de que un rayo (o una sonda) que penetre en el interior del dosel (Weiss y Baret, 2014). Las ecuaciones nos permiten proporcionar los fundamentos teóricos utilizados en el software CAN-EYE, para derivar variables biofísicas dosel con respecto de las grietas en forma bidireccional medida desde las imágenes hemisféricas en donde se utiliza la siguiente fórmula:

$$LAI = \int_0^H l(h) dh$$

La densidad de área foliar, $l(h)$ en el nivel h en el dosel se define como el área foliar por unidad de volumen del dosel. El índice de área foliar (LAI) corresponde a la integral de $l(h)$ sobre la altura del dosel. Por lo tanto, se define como el área de una hoja por unidad de área superficie. Aunque esta definición es clara para hojas anchas planas, puede causar problemas para las especies como las coníferas con acículas. En base a consideraciones

de transferencia radiactiva, definen a LAI como la mitad de la superficie desarrollada y el total de hojas por unidad planta en un área de superficie horizontal. Esta definición es, por tanto, válida independientemente de la vegetación o de su forma (Weiss y Baret, 2014).

b) De LAI efectivo a LAI verdadero

El "verdadero LAI", que se puede medir sólo con un planímetro sin embargo posibles relaciones alométricas permiten reducir la toma de muestras, que está relacionado con el índice de área foliar efectiva a través de:

$$LAI^{eff} = \lambda_o LAI$$

Donde λ_o es la agregación o dispersión de parámetros o el índice de aglutinación que depende tanto en la estructura de la planta, es decir, la forma de follaje como su posición relativa de las plantas en el dosel. La forma y el tamaño de las hojas también podrían desempeñar un papel importante en la formación de grumos (Weiss y Baret, 2014). En CAN-EYE, el índice de aglutinación se calcula utilizando el método de la fracción promedio grieta en el dosel en logaritmo, el principio se basa en la suposición de que los elementos de vegetación a nivel local están distribuidos al azar. Cada anillo cenital se divide en grupos (llamados células) de los píxeles individuales. El tamaño de las células individuales debe comprometer entre dos criterios: debe ser lo suficientemente grande como para que sea estadísticamente significativo y lo suficientemente pequeño para que la asunción de la aleatoriedad de la distribución de la hoja este dentro de la célula y sea válida. Para cada celda, P_o se calcula así como su logaritmo. Si no hay diferencia en la celda (sólo la vegetación, i.e, $P_o=0$), P_o se supone que es igual a una P^{sa} valor derivado de la ley de Poisson simple, utilizando una prescrito LAI^{sat} valor derivado $P^{CELL}(\theta)$ al igual que $\ln P^{CELL}(\theta)$ a continuación de este proceso, se promedian sobre el azimut y sobre las imágenes para cada anillo cenital. El promedio todavía tiene en cuenta las áreas enmascarados utilizando w_i la relación de estas dos cantidades proporciona el parámetro λ_o de aglutinación para cada anillo cenital:

$$\lambda_o(\theta, ALA^{eff}) = \frac{mean [\log P^{cell}_o \langle \theta \rangle]}{\log [mean(P_o^{cell} \langle \theta \rangle)]}$$

2.5. Estudios de caso con el uso de fotografías hemisféricas

En el estudio sobre la estimación de las propiedades del dosel en los bosques de hoja caduca con la fotografía digital hemisférica, (Chianucci y Cutini 2012), establecieron diez parcelas permanentes de 0,5-1 ha en tres áreas boscosas ubicadas en el centro de Italia con especies de hoja caduca, con una distribución cuatro de *Quercus cerris* L, dos de *Castanea sativa* Mill y cuatro de *Fagus sylvatica* L. en estos sitios se encontró un bosque secundario con alturas pequeñas en sucesión a un bosque maduro, como consecuencia de aclareos o por la evolución natural. Las diferentes altitudes para las parcelas seleccionadas presentaron desigualdades en la composición de las especies, la edad 29-66 años, con área basal que van 14,7-45,3 m²/ ha, a consecuencia de los diferentes tratamientos silvícolas aplicados.

Para las estimaciones de las propiedades del dosel con las fotografías hemisféricas procedieron a recolectar imágenes con una calidad "fina" en la resolución máxima (2 272 píxeles x 1 704 píxeles) y como imágenes JPEG utilizando una Nikon Coolpix 4500, una de las cámaras más utilizadas para realizan estimaciones para las propiedades del dosel del bosque.

Las fotografías fueron tomadas a una altura de 1,5 m, en una cuadrícula de puntos de muestreo. Las imágenes fueron recolectadas mensualmente entre abril y septiembre de 2011, para evaluar la expansión de las hojas después de la defoliación; en consecuencia, la máxima expansión de área foliar se presentó en julio y las imágenes recogidas en este mes se utilizaron para calcular el índice del área foliar (LAI). En cada parcela se tomaron de 9-15 imágenes hemisféricas que se recogieron cerca de la salida del sol (o la puesta del sol) en condiciones de cielo uniformes. La cámara estaba equipado con un convertidor de lente ojo de pez FC-E8 y se fijó a F1; la lente se alineó a la apertura de un hemisferio para cada imagen dividiéndose en 7 anillos de ángulo cenital y 8 segmentos de acimut. El rango de ángulo cenital utilizado para los análisis fue 0-70°. En el periodo de evaluación se obtuvieron los resultados que se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados del análisis de las fotografías hemisféricas

Especies	Leaf litter (Mg ha ⁻¹)	SLA (cm ²)	LAILT (m ²)	Transmitancia (%)
Q. cerris	3,604	116,05 (6,40)	4,44	6,20 (1,52)
Q. cerris	3,312	115,73 (3,21)	3,91	8,21 (2,02)
Q. cerris	3,968	115,54 (13,61)	4,78	8,05 (3,69)
Q. cerris	4,030	103,80 (9,13)	4,44	7,34 (2,20)
F. sylvatica	2,910	160,73 (17,75)	5,16	11,56 (4,88)
F. sylvatica	3,941	167,32 (11,67)	7,34	1,63 (0,29)
F. sylvatica	3,854	169,81 (19,78)	7,14	3,14 (2,01)
F. sylvatica	3,259	190,76 (18,85)	6,66	4,26 (1,36)
C. sativa	3,236	140,40 (22,15)	4,83	6,72 (3,09)
C. sativa	2,856	146,81 (19,62)	4,46	8,92 (3,29)

- **Transmitancia:** Es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo
- **LAILT:** índice de área foliar medido por trampas de arena
- **Leaf litter:** hojarasca
- **SLA:** área específica foliar

Fuente: Chianucci y Cutini 2012

La investigación concluye que este método es apropiado para bosques caducifolios denso, puesto que representa una gran promesa como un medio para obtener rápidamente las estimaciones de LAI en grandes áreas al ser rápido, barato, y fácil de usar, permitiendo el uso generalizado del método.

El estudio basado en modelos empíricos para rastrear los cambios estacionales en el índice de área foliar de bosques latifoliados-caducifolios con fotografías hemisféricas digitales, (Zhili et al 2015), se ubica en la Estación de Investigación de Universidad de Northeast Forestry, en el noreste de China, representa un bosque caducifolio típico de China, con una altitud media de 300 m sobre el nivel del mar. La media (1989-2009) la precipitación anual es de 629 mm, de los cuales en 50% es entre junio y agosto. El estudio se realizó con cuatro parcelas permanentes de 20 m × 30 m de plantas caducifolias. Las observaciones se registran desde el 1 al 21 de octubre de 2012, sin presencia de hojas en los árboles siendo la índice del área foliar en estas dos fechas de cero. Por lo tanto, toda la temporada de crecimiento en esta área de estudio es la temporada de otoño que consta del 1 de agosto al 11 de octubre y es cuando se produjo el máximo anual LAI directa y efectiva LAI.

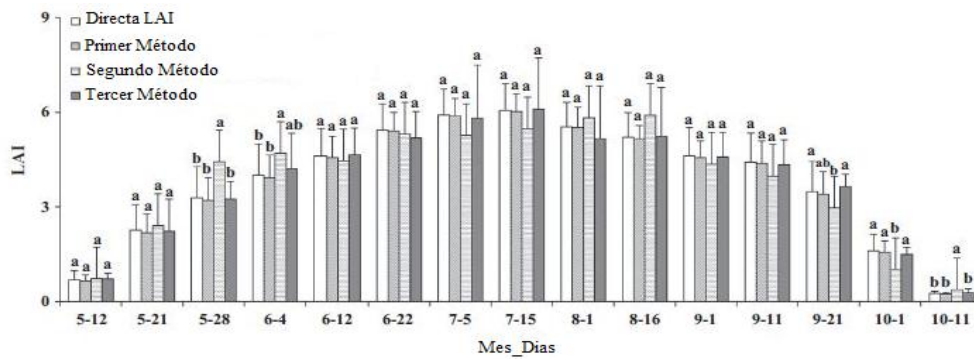
Cuadro 3. Especies Monitoreadas En Las Parcelas

Parcelas	Las principales especies	Altura (m)
1	<i>Ulmus japonica</i> (64,8%), <i>Fraxinus mandshurica</i> (15,8%)	20
2	<i>Betula platyphylla</i> (47,9%) <i>Ulmus japonica</i> (20,3%)	18
3	<i>Betula platyphylla</i> (50,8%), <i>Acer mono</i> (7,3%)	16
4	<i>Fraxinus mandshurica</i> (49,5%) <i>Ulmus japonica</i> (32,5%)	21

Fuente: Zhili et al 2015

Todas las fotografías hemisféricas de los puntos de muestreo se tomaron 1,3 m sobre el suelo utilizando un trípode con una cámara digital Nikon Coolpix 4 500 con una lente de ojo de pez 180° se obtuvieron cerca de la salida del sol (o la puesta del sol) en condiciones de cielo uniformes, para estimar el índice del área foliar con los siguientes ajustes para la cámara: modo de prioridad de apertura con apertura fijado en F 5,3 (exposición automática); de alta imagen de calidad (2272 × 1704 píxeles); y Formato JPEG. Obteniendo un total de 340 fotografías hemisféricas en cuatro parcelas de más de todas las fechas de estudio (desde el 1 de mayo hasta el 21 de octubre).

En base a relaciones empíricas se determina tres métodos diferentes para recolectar información basados en modelos lineales; en primer lugar separando toda la temporada de crecimiento en 15 períodos de sobre 10 días cada uno, segundo lugar ignorando los cambios estacionales en LAI y construyendo un modelo completo de la temporada de crecimiento y en tercer lugar, combinando los dos métodos anteriores: Primero se construyó un modelo empírico utilizando los datos combinados realizando un T para muestras relacionadas con una prueba a nivel de significación del 95 % para determinar si existían diferencias significativas entre LAI_{dir} y estima LAI usando el modelo empírico. Por las semejanzas se agrupo claramente los datos sin diferencias significativas entre sí y los que tienen diferencias significativas, diferentes letras minúsculas en la misma fecha indican una diferencia significativa entre los tipos LAI en un nivel de significancia de 0,01 .En el periodo de evaluación se obtuvieron los resultados que se indica en el Figura 2.



Fuente: Zhili et al 2015

Figura 2. Dinámica estacional de LAI de diferentes métodos en todas las diferentes temporadas en bosques latifoliados caducifolios

En el presente estudio que comprende la variación en la fenología foliar de especies de hoja perenne y de hoja caduca en Assam, India (Chandra, 2013), se realizó durante 3 años (marzo de 2007-marzo de 2010); para controlar el crecimiento, el tamaño de las hojas y caída de las hojas se observaron 19 especies de árboles (13 de hoja perenne y 6 especies de hoja caduca) en un bosque tropical húmedo en Assam, India. El área de estudio recibe una precipitación media anual de 2 318 mm de los cuales caen más lluvia (70 %) se produce durante junio-septiembre. Tanto los grupos de plantas variaron significativamente en la mayoría de los parámetros. En general, el crecimiento de las especies de hoja caduca inició antes de las especies de hoja perenne y mostró un crecimiento de brotes rápidos, la aparición de la hoja y expansión de las hojas en comparación con las especies de hoja perenne.

El período de aparición de la hoja fue significativamente diferente entre las especies de hoja perenne (4,2 meses) y especies de hoja caduca (6,8 meses). Tasa de elongación de brotes también fue significativamente diferente de hoja perenne y de hoja caduca (0,09 especies frente a 0,14 cm día). El número de hojas por brote fue mayor para las especies de hoja caduca que para las especies de hoja perenne (34-16 hojas). La vida útil de la hoja media de especies de hoja perenne (328 ± 32 días) fue significativamente mayor que la de las especies de hoja caduca (205 ± 16 días). Aunque el clima de la zona de estudio es compatible con bosques de hoja perenne las variaciones en las estrategias fenológicas quizás ayudan a reducir la competencia entre los perennes y especies caducifolias que permiten tener recursos en estos bosques y permitir la coexistencia de ambos grupos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del Área de estudio

La Reserva Natural Laipuna, con una extensión aproximada de 1 600 ha se ubica entre 350 y 1 500 msnm, se encuentra a 150 Km al sur oeste de la ciudad de Loja (Vía Loja-Macará) en la Parroquia Larama del Cantón Macara, Provincia de Loja perteneciente a la Fundación Naturaleza y Cultura Internacional (Figura 3).

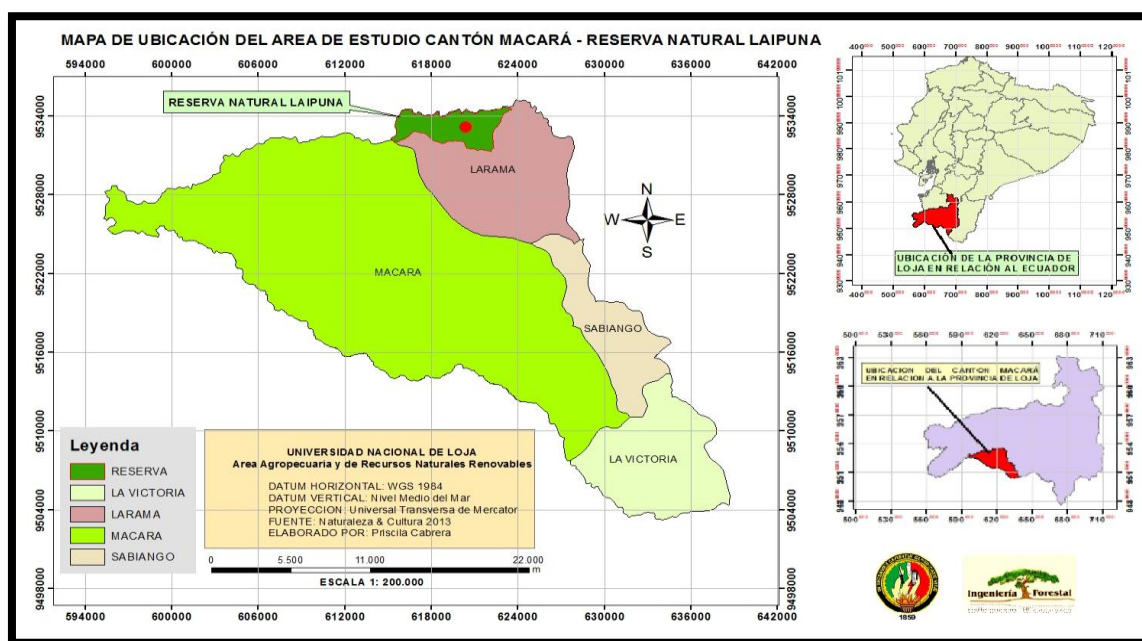


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio

La Reserva Natural Laipuna, forma parte de uno de los mejores remanentes de bosque seco en la Región Tumbesina, la cual por su conocida biodiversidad ha sido identificada como “Endemic Bird Area” (EBA) (Cueva y Rodas 2006). En la Reserva existen varios tipos de bosque, así, en la parte alta, la presencia de neblina durante una parte del año mantiene un bosque siempreverde, mientras que en la parte media y baja domina el bosque seco, caracterizado por árboles que se defolian durante la época seca, como el pasallo y gualtaco. Alrededor del 20 % de las especies de plantas de esta región son endémicas, así como 8 especies de mamíferos y 55 especies de aves (Cueva y Rodas 2006). La temperatura media anual es de 23°C y la precipitación media anual de 500 mm. De acuerdo con la clasificación de Sierra et al. (1999) la reserva se encuentra en la formación vegetal de bosque semideciduo piemontano.

3.2 Metodología Para Determinar la Fenología Foliar de Especies Caducifolias Durante el Período de Transición de la Estación Seca Hasta la Terminación de Época de Lluvia

3.2.1 Diseño del terreno

Para determinar la fenología foliar del bosque seco de la Reserva Laipuna, se realizó con base a la toma de fotografías hemisféricas en donde se colaboró a través de pasantías para Naturaleza & Cultura Internacional y la Universidad de Goettingen dentro del proyecto denominado “**El consumo de agua y la captura de carbono en un bosque caducifolio de montaña como indicadores funcionales de los cambios ambientales en el sur de Ecuador**”, mediante el consorcio Ecuatoriano-Alemán “Platform for biodiversity, ecosystem monitoring and research in South Ecuador”. Se hizo la captura de las fotografías mediante cámaras con lente ojo de pez con un frecuencia de una a dos veces por semana a fin de controlar el proceso fenológico en diferentes gradientes altitudinales durante el período de transición de la estación seca para la estación lluviosa.

Se levantó la información en tres parcelas instaladas anteriormente por Bettac Luise en el 2014 con una dimensión de 60 x 60 m, subdivididas en 9 subparcelas de 20 x 20 m. Para la toma de las fotografías, se ubicó la cámara en el centro de cada subparcela como se indica en la Figura 4.

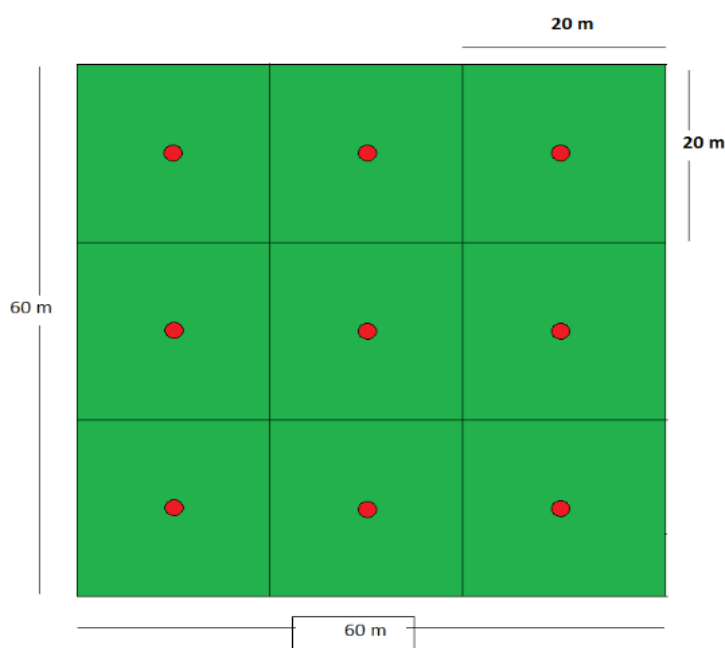
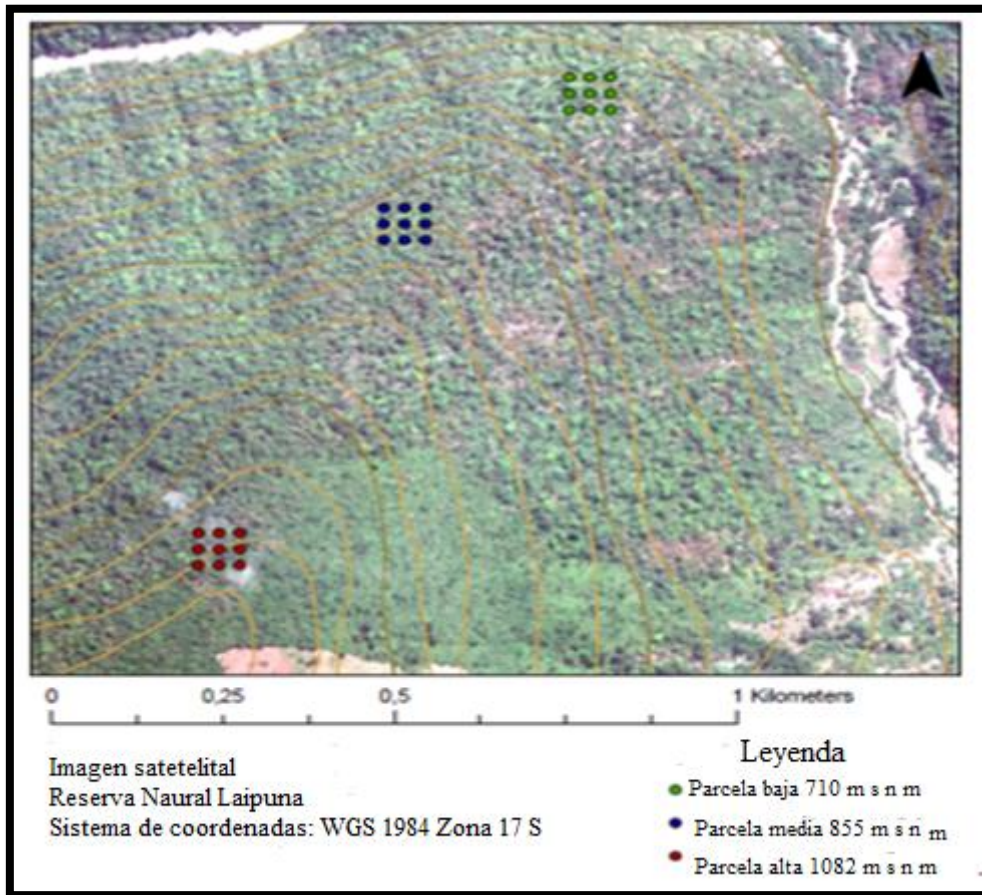


Figura 4. Descripción de las parcelas y subparcelas de muestreo

La parcela uno se encuentra en la parte "Baja" a una altitud de 710 m s n m, la parcela dos en la parte "Media" a 855 m s n m y la parcela tres en la parte "Alta" a una altitud de 1 082 m s n m como se indica en la Figura 5.



Fuente: Bettac Luise, 2014

Figura 5. Distribución de las parcelas

Las fotografías hemisféricas fueron tomadas durante los meses de diciembre, enero, febrero y mediados del mes de marzo con regularidad para mayor exactitud en los datos, siempre tomando en cuenta factores meteorológicos y como condicionante realizándolo en las horas de la mañana o al atardecer para evitar la luz solar directa en la cámara.

3.2.2 Ajustes de la cámara

Las imágenes hemisféricas fueron registradas con un nombre, número. Se utilizó un lente gran angular o conocido como lente ojo de pez con un campo de visión de 185 °, las capturas fotográficas se realizaron en modo STANDARD con una cámara Canon EOS 300D DIGITAL, con velocidad de obturación de 1/100 s. que permite determinar una mayor profundidad de campo con una nitidez general de la fotografía del paisaje y con

un brillo que fue cambiado manualmente dependiendo de las condiciones meteorológicas. El trípode con la cámara se colocó a una altura 1,30 m por encima del suelo y con la lente hacia el cielo, en forma equilibrada y con una orientación al norte.

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa CAN EYE, siendo un software de imagen (Windows) -CAN-EYE que está diseñado para procesar varias imágenes a la vez con resultados óptimos. Según Bonhomme (1974) las imágenes pueden ser RGB o binarizada, las mismas que tienen un conjunto de características que mejoran su eficiencia, precisión, flexibilidad y trazabilidad:

- Eficiencia: una serie de imágenes típicamente se procesa dentro de 2 a 20 minutos, dependiendo de la complejidad de las imágenes (Bonhomme R, 1974)
- Precisión: La conversión de la imagen en una imagen binarizada se lleva a cabo a través de un proceso de clasificación interactiva. Esto proporciona más flexibilidad para separar los elementos verdes y permite la adquisición de imágenes de ambos por encima o por debajo de la cubierta (Bonhomme R, 1974).
- Flexibilidad: CAN-EYE permite calibrar el sistema de imagen, así como la definición de la zona de interés. Herramientas de máscaras interactivas permiten al usuario eliminar partes de las fotos contaminados por los objetos indeseables. También se incluyen herramientas de zoom interactivos (Bonhomme R, 1974)

Es así que estos elementos permitirán la extracción de características como la estructura del dosel, área de la lámina foliar y el porcentaje de follaje (Bonhomme R, 1974)

3.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se sugirió aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, el mismo que permite hacer un análisis unidireccional de varianza o H-test, el cual genera información estadísticas y gráficos necesarios para la selección de las ecuaciones, la prueba H pertenece a las pruebas no paramétricas que se utiliza para determinar las diferencias significativas entre la comparación de dos o más grupos de muestras de las variables independientes mediante la formación de filas.

Sin embargo al realizar los supuestos del análisis de varianza; normalidad y homogeneidad de varianzas en los resultados, se optó por las comparaciones múltiples que permiten dar respuestas a las hipótesis con una prueba de LSD Fisher que permitió

determinar las diferencias significativas entre la comparación de dos muestras que se presentan en forma de lista; Info Stat/Profesional 2013 reporta las medias ordenadas de menor a mayor acompañadas por una letra de tal manera que las medias que tienen la misma letra no muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significación (por defecto 0,05 pero se especifica 0,01), que no existen en las pruebas de Tukey, Dunan y SNK.

3.3. Metodología para la comparación de los datos de la investigación con los resultados del estudio realizado por Luise en el 2014, sobre fenología foliar de especies caducifolias durante el período de transición de la estación lluvia hasta la terminación de época seca, realizada en la Reserva Laipuna

Para este objetivo se tomó los datos del estudio de Bettac Luise (2014), del mismo escenario de estudio realizado en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna, pero en diferente estacionalidad de época lluviosa a seca, frente a los resultados obtenidos en la presente investigación de época seca a lluviosa. Para realizar esta comparación entre ambos estudios, se utilizó un análisis de varianza y una prueba “t” pareada, lo cual permitió determinar las diferencias en el porcentaje de vegetación verde y el índice de área foliar efectiva, frente a la ocurrencia de dichos procesos en el bosque seco.

3.4. Metodología Para la Difusión de los Resultados de la Investigación

Para la difusión de los resultados de la presente investigación se utilizó los siguientes canales como son:

- Se socializó los resultados con los estudiantes del 5to año de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja, mediante una conferencia.
- Se elaboró un artículo científico siguiendo a los lineamientos de publicaciones establecidos en la Universidad Nacional de Loja.

4. RESULTADOS

4.1. Fenología foliar de especies caducifolias durante el período de transición de la estación seca hasta la terminación de época de lluvia

El análisis de la fenología foliar, se obtuvo con fotografías hemisféricas que fueron analizadas de forma simultánea por día de observación, puntos de muestreo y por parcela (Anexo 1 al 9). Para el procesamiento de las fotografías, se utilizó el software Can Eye, donde se obtuvo el recorte de los troncos y ramas de los árboles, logrando una discriminación de píxeles del cual se determinó variables como porcentaje de vegetación, porcentaje de tierra/cielo, índice de área de lámina foliar verdadera e índice de área de lámina foliar efectiva (Figura 6 y 7).

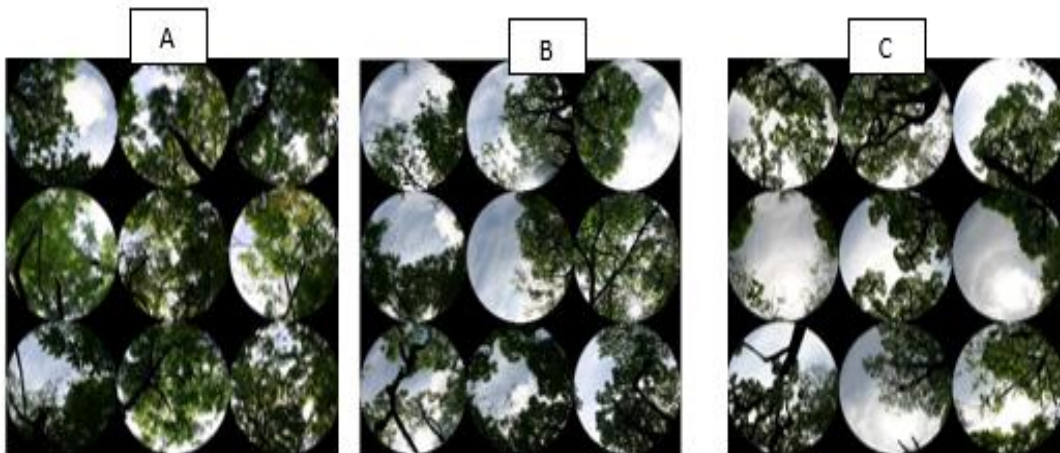


Figura 6. Imágenes hemisféricas de los 9 puntos de muestreo con los recortes de troncos y ramas (17 de febrero 2015) en la parcela Alta (A), Media (B) y Baja (C)

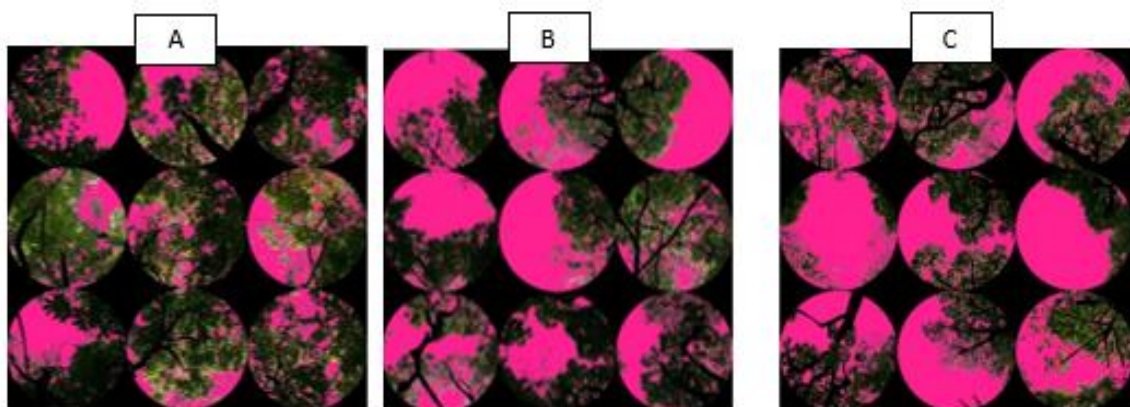


Figura 7. Imágenes hemisféricas de los 9 puntos de muestreo con la discriminación de píxeles: rojo= cielo/suelo y verde= vegetación (17 de febrero 2015) en la parcela Alta (A), Media (B) y Baja (C)

4.1.1. Índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde

Los resultados que se obtuvieron, en cuanto al índice del área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de las especies caducifolias de las tres parcelas de las zonas baja, media y alta (Ver anexos 10, 11 y 12), en el cuadro 4 se detallan los valores totales de cada variable y por parcelas.

Cuadro 4. Índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de las tres parcelas

Parcela	Variable	17- dic	27- dic	31- dic	03- ene	10- ene	14- ene	17- ene	05- feb	08- feb	12- feb	15- feb	17- feb	26- feb	01- mar	12- mar
Alta	Vegetación (%)	3	4	6	21	24	24	23	61	68	73	74	74	74	74	74
	LAI	0,03	0,06	0,07	0,34	0,35	0,39	0,38	1,00	1,20	1,40	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50
Media	Vegetación (%)	0,11	0,98	1	4	5	5	5	46	47	52	53	54	54	54	54
	LAI	0,00	0,01	0,01	0,13	0,06	0,07	0,06	0,69	0,74	0,79	0,88	0,85	0,91	0,89	0,91
Baja	Vegetación (%)	0,40	0,66	1	5	6	6	9	45	45	46	48	48	48	44	45
	LAI	0,00	0,01	0,01	0,09	0,12	0,08	0,14	0,71	0,67	0,75	0,72	0,76	0,80	0,74	0,76

Comparando el índice del área efectiva foliar LAI y el porcentaje de vegetación verde para todas las parcelas, en las Figuras 8,9 y 10, se observa un patrón similar entre las dos variables, obteniendo curvas de crecimiento paralelas, lo cual evidencia un crecimiento ascendente, conforme se presentan las primeras lluvias en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna.

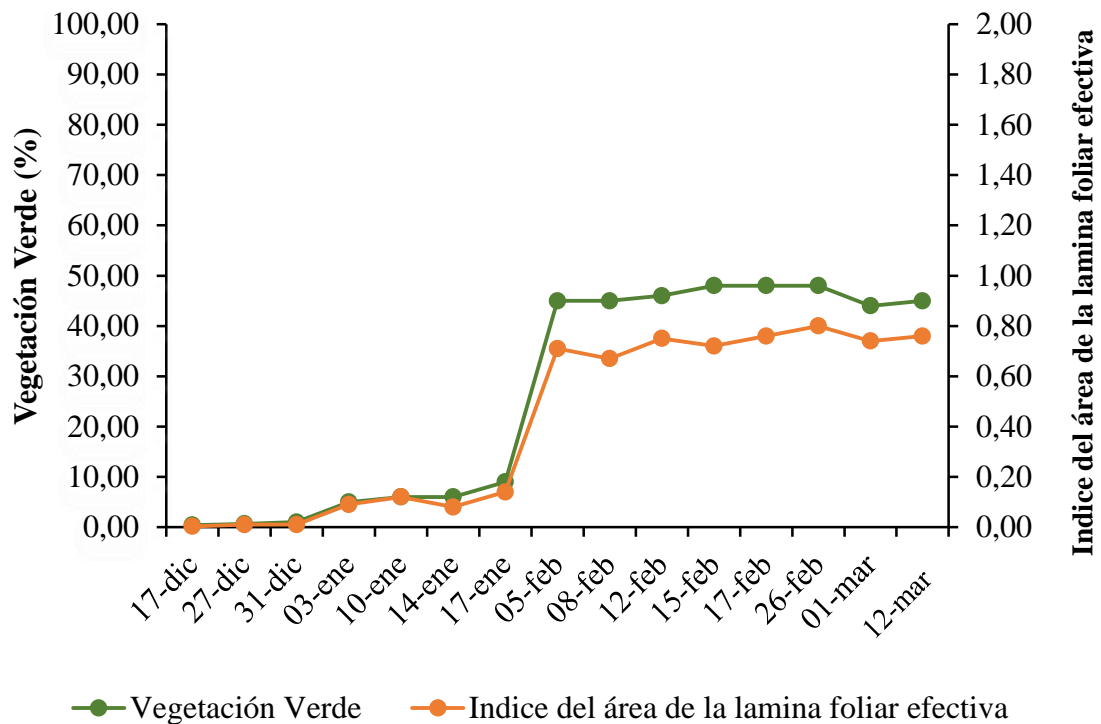


Figura 8. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela baja del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015

En la Figura 8, se puede observar el mayor crecimiento se denota 15 de febrero con un 48 % de vegetación verde, mientras que el índice de área efectiva foliar el mayor crecimiento se presenta el 26 de febrero con 0,80, en donde los valores se estabilizan hasta el 12 de marzo.

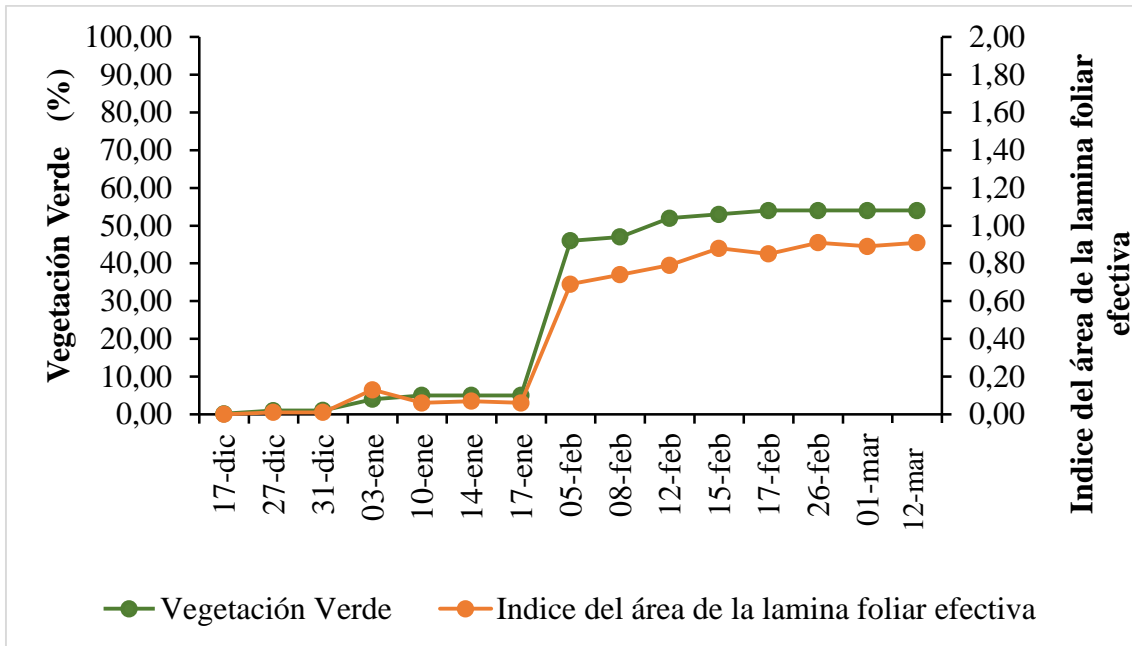


Figura 9. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela media del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015

En la parcela media con respecto a las dos variables, se empieza con valores 0,00 el mayor crecimiento se denota 17 de febrero con un 54 % de vegetación verde y, para el índice de área efectiva foliar el mayor crecimiento, se presenta el 26 de febrero con 0,91 en donde los valores se estabilizan hasta el 12 de marzo (Figura 9).

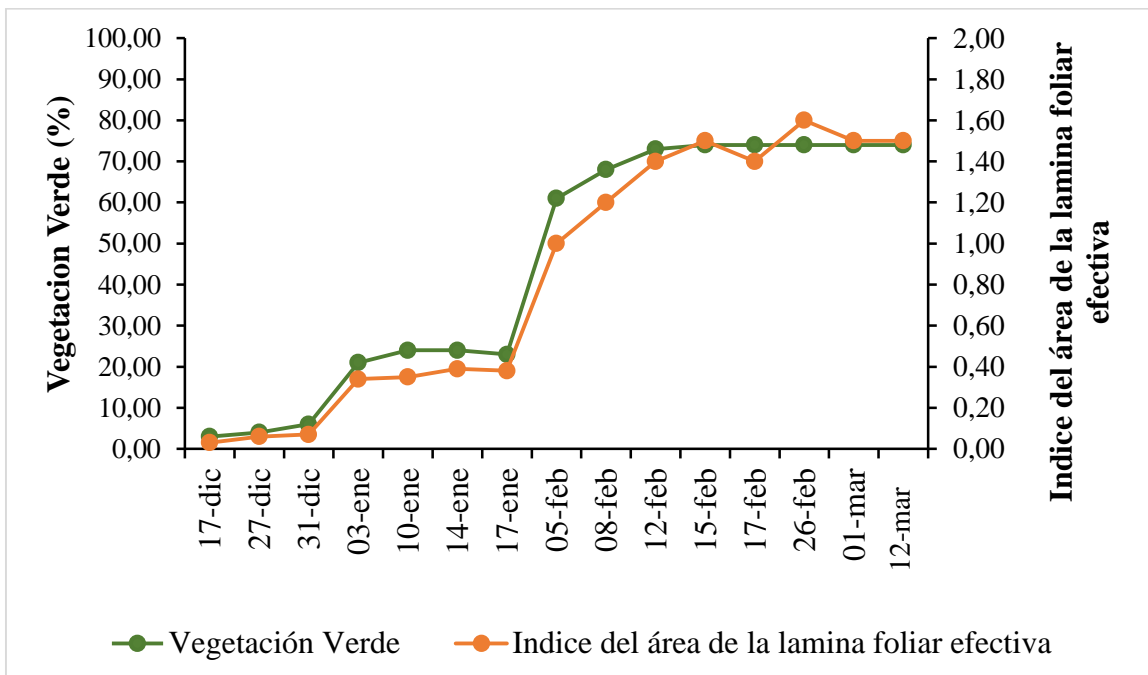
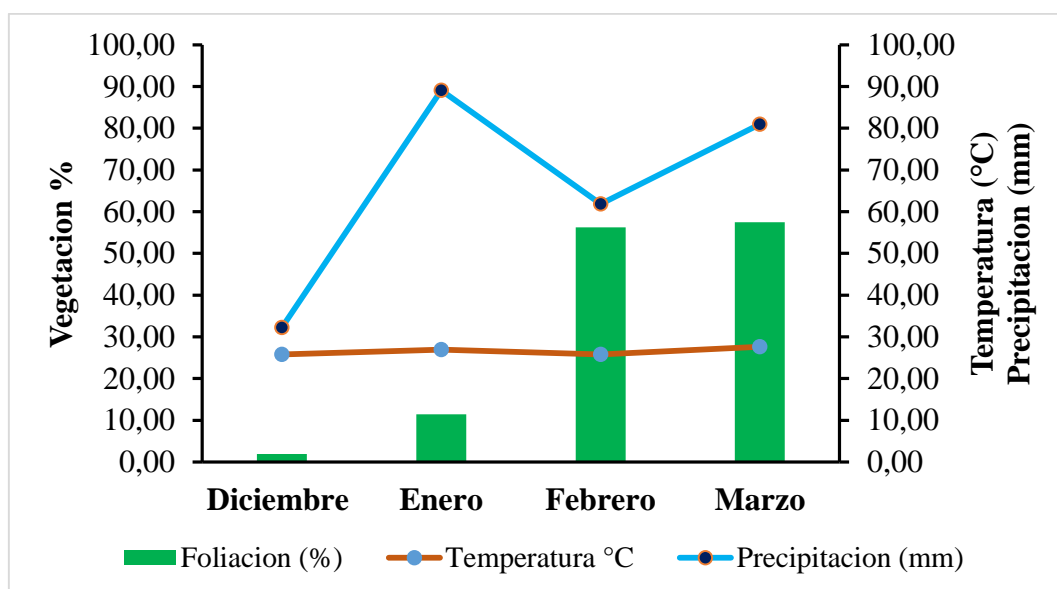


Figura 10. Desarrollo del índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde de la parcela alta del 17 de diciembre, 2014- 12 de marzo, 2015

En la parcela alta con respecto a las dos variables se empieza con valores de 3 % para la vegetación verde y alcanzando el mayor crecimiento el 15 de febrero con un 74 % de vegetación verde. Para el índice de área efectiva foliar se comienza con 0,03, el mayor crecimiento se presenta el 26 de febrero con 1,60, disminuyendo a 1,50 hasta el 12 de marzo (Figura 10).

4.1.2. Análisis de la relación entre la foliación de especies caducifolias con los factores climáticos de la zona

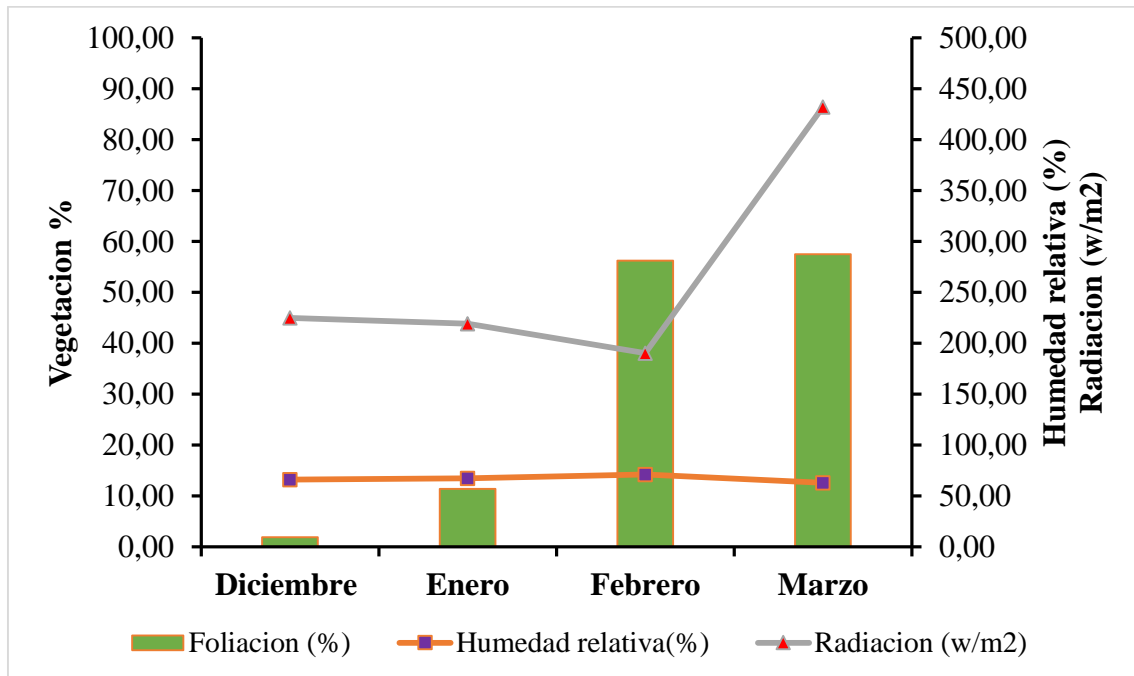
En la zona como en la mayor parte de los bosques secos se presentaron dos épocas o temporadas bien definidas: la época seca o de verano, ocurrida en la mayor parte de los meses del año, desde mayo a diciembre, según los registros de la estación Climática de la Reserva Laipuna , que indican que en este período las precipitaciones fueron nulas, la temperatura 25,61 °C; y la **época lluviosa o invernal** que se presentó en los meses de enero, febrero, marzo y abril, en esta época la temperatura media de 26,80 °C, y se presentaron precipitaciones regulares en el mes de enero se presentó 62,10 mm, siendo la mayor precipitación dentro de los meses monitoreados. En las Figuras 11 y 12 se presentan los porcentajes de la vegetación y su relación con las variables de precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación de la zona de estudio.



Fuente Peters T, 2015. Datos de la estación Climática Reserva Laipuna, Valle.

Figura 11. Relación de la foliación con temperatura y precipitación del área de estudio (17 diciembre, 2014- 12 marzo, 2015)

Al comenzar la toma de fotografías en el mes de diciembre se encontró con casi a todos los arboles sin hojas con excepción de algunos individuos de *Ceiba trichistrandra*, la aparición de mayor porcentaje de vegetación en la copa de los árboles se presentó en el mes de enero al igual que las lluvias con una temperatura constante en la zona.



Fuente: Peters T, 2015. Datos de la estación Climática Reserva Laipuna, Valle.

Figura 12. Relación de la foliación con humedad relativa y radiación del área de estudio (17 diciembre, 2014- 12 marzo, 2015)

Las condiciones climáticas extremas que se presentaron en la zona durante el periodo de seguimiento presentan que la humedad relativa se mantiene constante con el máximo valor en el mes de febrero con 71, 09 %, mientras que para la radiación existe una divergencia entre los meses, obteniendo un pequeño declive en el mes de febrero y un aumento significativo el mes de marzo.

4.1.3. Análisis estadístico

Para dar respuesta a la hipótesis de que existe o no diferencia entre parcelas, fechas y puntos de muestreo respecto a la fenología foliar se obtuvo las medias de las variables como porcentaje de vegetación y LAI.

4.1.3.1. Análisis de varianza de la variable vegetación de acuerdo a las variables de clasificación

Para este análisis, se relacionó el porcentaje de vegetación con los respectivos criterios de clasificación (parcela, fechas y puntos), mismas que se describen en el siguiente Cuadro 5.

Cuadro 5. Nivel de significación de las variables de clasificación a la variable de respuesta

VARIABLE	Criterios de clasificación	Cv	P_valor
Vegetación (%)	Parcela	12,05	0,0001
	Fecha		0,0001
	Punto		0,9999

Cv: Coeficiente de variación

P valor: valor de probabilidad

Luego de aplicar el análisis de varianza, se obtuvo que entre parcelas y fechas de monitoreo existen diferencias significativas, mientras que entre puntos las diferencias no son significativas.

Para el primer criterio de clasificación en donde existen diferencias significativas entre parcelas, se presenta a continuación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución de las medias de la vegetación con respecto en las tres parcelas:
(Zona: Alta, Media y Baja)

Parcelas	Medias	n	E.E.	Diferencia estadística (p>0,05)
Baja	26,47	135	0,35	A
Media	29,01	135	0,35	B
Alta	45,13	135	0,35	C

n.- tamaño de la población

E.E.- error estándar

La distribución de las medias de la vegetación de las tres parcelas, muestran una diferencia notable, de los valores entre las parcelas de las zonas baja y media 26,47, 29,01 respectivamente y la parcela de la zona alta, cuyo valor duplica a las dos anteriores con 45,13.

El segundo criterio de clasificación en donde se encontró diferencias significativas respecto a las fechas de monitoreo Cuadro 7.

Cuadro 7. Distribución de las medias de la vegetación con respecto a las fechas en donde se monitoreo la fenología

N°	Fechas	Medias	n	E.E.	Diferencia estadística (p>0,05)
1	17/12/2014	1,17	27	0,78	A
2	27/12/2014	1,88	27	0,78	A
3	31/12/2014	2,67	27	0,78	A
4	03/01/2015	10,00	27	0,78	B
5	10/01/2015	11,67	27	0,78	BC
6	14/01/2015	11,67	27	0,78	BC
7	17/01/2015	12,33	27	0,78	C
8	05/02/2015	50,67	27	0,78	D
9	08/02/2015	53,33	27	0,78	E
10	12/02/2015	57,00	27	0,78	F
11	15/02/2015	57,33	27	0,78	F
12	17/02/2015	57,67	27	0,78	F
13	25/02/2015	58,33	27	0,78	F
14	01/03/2015	58,67	27	0,78	F
15	12/03/2015	58,67	27	0,78	F

n.- tamaño de la población

E.E. - error estándar

En la zona de estudio existe diferencias significativas en la distribución de las medias de la vegetación en cuanto a las fechas de muestreo, debido a factores meteorológicos que marcan la época seca y lluviosa; por ello en el periodo inicial de monitoreo (época seca) la vegetación presenta valores más bajos, mientras que con la presencia de las primeras lluvias, se dio un aumento paulatino de la vegetación; es así que a partir del 12 de febrero del 2015 se estabiliza hasta el término del monitoreo de la investigación; y en donde se refleja la simbología de las medias que se presenta en forma de letras del abecedario, permitiendo visualizar las diferencias estadísticamente.

4.1.3.2. Análisis de varianza de la variable área de lámina foliar efectiva de acuerdo a las variables de clasificación

Para determinar la relación entre la variable área de lámina foliar efectiva con los respectivos criterios de clasificación (parcela, fechas y puntos), mismas que se describen en el siguiente Cuadro 8.

Cuadro 8. Nivel de significación de las variables de clasificación a la variable de respuesta

VARIABLE	Criterios de clasificación	Cv	P_valor
Índice del área de la lámina foliar efectiva	Parcela	21,43	0,0001
	Fecha		0,0001
	Punto		0,9999

Cv.-Coeficiente de variación

P_valor.-valor de probabilidad

Luego de aplicado el análisis de varianza en el Índice del área de la lámina foliar efectiva y en base a los criterios de clasificación, se presenta que entre puntos las diferencias no son significativas, mientras que para las tres parcelas y fechas de monitoreo, si existen diferencias significativas. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distribución de las medias de LAI con respecto en las tres parcelas: (Zonas: Alta, Media y Baja)

Parcelas	Medias	n	E.E.	Diferencia estadística (p>0,05)
Baja	0,42	135	0,01	A
Media	0,47	135	0,01	B
Alta	0,85	135	0,01	C

n.- tamaño de la población

E.E.- error estándar

La distribución del índice del área de la lámina foliar efectiva en base a las medias, presenta una diferencia notable en los valores entre las parcelas de la parte media de 0,47 y baja de 0,42 en relación con la parte alta donde se duplica el valor obtenido en las dos anteriores con un 0,85.

El segundo criterio de clasificación en donde se encontró diferencias significativas respecto a las fechas de monitoreo. Se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Distribución de las medias de LAI con respecto a las fechas en donde se monitoreo la fenología

N°	Fechas	Medias	n	E.E.	Diferencia estadística (p>0,05)
1	17/12/2014	0,01	27	0,02	A
2	27/12/2014	0,03	27	0,02	A
3	31/12/2014	0,03	27	0,02	A
4	03/01/2015	0,19	27	0,02	B
5	10/01/2015	0,18	27	0,02	B
6	14/01/2015	0,18	27	0,02	B
7	17/01/2015	0,19	27	0,02	B
8	05/02/2015	0,8	27	0,02	C
9	08/02/2015	0,87	27	0,02	D
10	12/02/2015	0,98	27	0,02	E
11	15/02/2015	1,03	27	0,02	EF
12	17/02/2015	1,0	27	0,02	EF
13	25/02/2015	1,1	27	0,02	G
14	01/03/2015	1,04	27	0,02	EFG
15	12/03/2015	1,06	27	0,02	FG

n.- tamaño de la población

E.E.- error estándar

En el periodo de monitoreo inicial la variable LAI al igual que la vegetación los valores son bajos al presentarse las primeras lluvias existe un aumento paulatino de la vegetación; es así que a partir del 12 de febrero del 2015 y que para fechas posteriores se estabiliza hasta el término del monitoreo de la investigación.

4.2. Comparación de los datos de la investigación con los resultados del estudio realizado por Bettac Luise en el 2014, sobre fenología foliar de especies caducifolias durante el período de transición de la estación lluvia hasta la terminación de época seca, realizada en la Reserva Laipuna.

Los datos del estudio de Bettac Luise 2014 referente al porcentaje de vegetación y área foliar y los datos de la presente investigación permitió la aplicación de la prueba “t” pareada que nos permite calcular la diferencia dentro de cada par de mediciones de antes y después, determinando la media de estos cambios e informa si la media de las diferencias es estadísticamente significativa (Anexo 13).

De acuerdo a los resultados de la aplicación de esta prueba estadística, los valores de los promedios de las medias que se presenta para la temporada lluviosa que consta desde abril hasta mayo es de un 38%, mientras que para la temporada seca abarco lo meses de diciembre hasta marzo con 33%, presentándose diferencias estadísticamente significativas. Para la variable LAI, la época lluviosa presenta un valor más alto, pero no se encuentra más diferencias con respecto a la variabilidad entre las parcelas. Figura 13

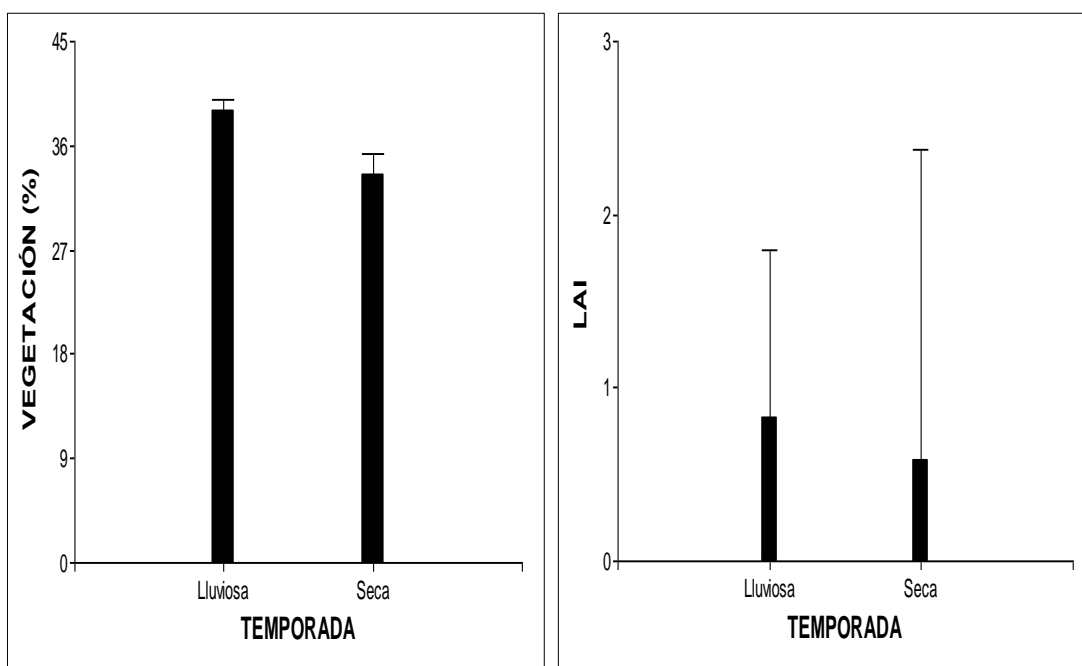


Figura 13. Prueba “t” pareada para la variable vegetación y LAI de las dos temporadas

Los datos de las investigaciones permiten realizar un análisis de varianza que reflejo la diferencias entre la estacionalidad con respecto a las parcelas de muestro manifestada en la fenología foliar Cuadro 11 y 12.

Cuadro 11. Análisis de varianza de la variable área de lámina foliar con respecto a la estacionalidad

Parcelas	Temporada	Medias	n	E.E	Diferencia estadística (p>0,05)
Alta	Seca- Lluviosa	0,92	135	0,05	A
	Lluviosa- Seca	1,07	90	0,06	A
Media	Seca- Lluviosa	0,53	135	0,04	A
	Lluviosa- Seca	0,92	90	0,05	B
Baja	Seca- Lluviosa	0,45	135	0,03	A
	Lluviosa- Seca	0,64	90	0,04	B

n.- tamaño de la población

E.E.- error estándar

Para la variable del área de lámina foliar, se determina que en la parcela alta no existen diferencias entre las dos estacionalidades pero para las parcelas media y baja se determina diferencias significativas encontrando valores más altos en la temporada lluviosa-seca.

Cuadro 12. Análisis de varianza de la variable vegetación con respecto a la estacionalidad

Parcelas	Temporada	Medias	n	E.E	Diferencia estadística (p>0,05)
Alta	Seca- Lluviosa	45,13	135	1,96	A
	Lluviosa- Seca	51,7	90	2,39	B
Media	Seca- Lluviosa	26,47	135	1,5	A
	Lluviosa- Seca	29,6	90	1,84	A
Baja	Seca- Lluviosa	29,01	135	1,69	A
	Lluviosa- Seca	35,5	90	2,07	B

n.- tamaño de la población

E.E.- error estándar

La variable vegetación, determina que la parcela media presenta valores similares entre las dos estacionalidades, a diferencia de las parcelas de las zonas alta y baja donde se determina diferencias significativas encontrando valores más altos en las temporadas lluviosa-seca.

5. DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez culminado el trabajo de investigación, la difusión de los resultados obtenidos se realizó a través de una conferencia realizada a los alumnos de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja, mediante una conferencia (Figura 17).



Figura 14. Difusión de resultados a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal.

DETERMINACION DE LA FENOLOGIA FOLIAR MEDIANTE LA INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS HEMISFERICAS, DEL BOSQUE SECO EN LA TRANSICION EPOCA SECA Y LA TERMINACION DE LA EPOCA DE LLUVIA, EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA, CANTON MACARA

¹Maria Priscila Cabrera Garcia', ²Edwin Alberto Pacheco

1. Egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal.

*Autor: mary.priscg@gmail.com

2. Director de Tesis y Docente de la Universidad Nacional de Loja.

RESUMEN

La investigación sobre fenología foliar con el uso de fotografías hemisféricas, se desarrolló en la Reserva Natural Laipuna en el cantón Macará, donde están instaladas tres parcelas a diferentes pisos altitudinales (alta 1082 msnm, media 855 msnm y baja 710 msnm) de 60 x 60 m, subdivididas en 9 subparcelas de 20 x 20 m. Para la toma de fotografías se utilizó una cámara digital con un lente gran angular, ubicada en el centro de cada subparcela, realizando un seguimiento a las fases fenológicas de transición del bosque durante la temporada seca a lluviosa. Se utilizó las fotografías hemisféricas que fueron analizadas de forma simultánea para todos los nueve puntos de muestreo por parcela y día de observación mediante el software Can Eye, que previo a un recorte de los troncos y ramas de los árboles se obtuvo una discriminación de píxeles que permitió obtener variables como porcentaje de vegetación y LAI. Como resultados se obtuvo que en el mes de diciembre en las parcelas de las zonas baja y media existe una relación similar en las variables, mientras que para la parcela de la zona alta se presenta valores mayores, estas diferencias se justifican por su diversidad funcional, debido a factores ambientales y a especies que se distribuyen en las parcelas, con una reposición de follaje del 57,50 % y 1,10 de LAI hasta el mes de marzo. Los datos del estudio de Bettac Luise (2014) referente a las variables y la presente investigación, permitió realizar la prueba "t" apareada con un ANOVA que reflejó las diferencias entre la estacionalidad fenología foliar. Para la variable LAI se determina que en la parcela de la zona alta no existen diferencias entre las dos estacionalidades, pero para las parcelas de las zonas media y baja se determina diferencias significativas encontrando valores más altos en la temporada lluviosa-seca.

Palabras claves: Fenología foliar, LAI, ANOVA, vegetación, fotografías hemisféricas.

Figura 15. Artículo científico, para la publicación del trabajo de investigación

6. DISCUSIÓN

6.1. Enfoque metodológico de fotografías hemisféricas

La determinación de la fenología foliar en especies caducifolias, a través de las fotografías hemisféricas es ampliamente utilizada. Sin embargo, en algunas ocasiones presenta problemas al ser sensible a la arquitectura de dosel en el bosque, ya sea por la posición de la cámara o la orientación en la que se encuentre. Mussche *et al.*, (2001) menciona que se debe tomar en cuenta las condiciones meteorológicas del lugar que puede producir errores, como es la alta radiación solar y la presencia de lluvias que se evidencian en la Reserva Laipuna, de aquí que es necesario considerar las horas factibles para que las fotografías no se vieran afectadas por los factores.

En la medición, del índice de área foliar y otras propiedades del dosel como cobertura de copas mediante el uso de fotografías hemisféricas digitales, se determina que es un método prometedor con un porcentaje de error baja. Los estudios realizados por Chianucci Y Cutini (2013), que confirman la exactitud de la fotografía hemisférica digital en la estimación de las propiedades del dosel del bosque, donde la distribución de las hojas que se orientan acimutalmente al azar con una captación amplia de la copa, logrando obtener una visión de la vegetación de color negro al no transmitir la luz.

6.1.1. Índice de área efectiva foliar (LAI) y vegetación verde

Dentro del contexto de las tres parcelas para determinar estos parámetros (LAI y porcentaje de vegetación verde); en la parcela baja y media existe una relación similar en las variables de vegetación verde y el índice de área efectiva foliar respectivamente; mientras que para la parcela alta se presenta valores más altos con respecto a las dos variables. Estos resultados se corroboran con Bettac Luise (2014), en la que concluye que en la cota alta los valores son mayores en comparación con las altitudes más bajas, por lo que argumenta la existencia de especies de árboles de hoja perenne en la parcela de la zona alta debido a la variación de la precipitación y el suministro de agua que justifican el mayor porcentaje de vegetación verde, considerando su diversidad funcional por los factores ambientales y las especies que se distribuyen en las parcelas. A esto se suma lo mencionado por Cueva & Rodas 2006, que en la Reserva en la parte alta se encuentra la presencia de neblina durante una parte del año que permite mantener un

bosque siempreverde, mientras que en la parte media y baja domina el bosque seco, caracterizado por árboles que se defolían durante la época seca.

Los métodos estadísticos utilizados en la presente investigación al igual que Bettac Luise, (2014) se relacionan al calendario de eventos fenológicos con factores ambientales o acumulaciones de unidades de calor. Por lo que se puede explicar que la fenología de plantas se da por la relación " causa-efecto" conocidos o asumidos entre los procesos biológicos y las variables de conducción clave como son: la absorción de agua por los órganos aéreos de las plantas, la acumulación de agua en el tallo que se puede utilizar durante el período seco, el dimorfismo del sistema radicular que permite a las plantas perseguir fuentes alternativas de agua para la estación seca y en algunos casos la redistribución hidráulico (Scholz *et al.*, 2002; Andrade 2005)

Según Villar (2004), las hojas son esencialmente órganos que ganan energía. Por la disposición de las hojas en el tiempo (hoja fenología) y en los espacios (arquitectura del dosel) en ambos ambientes estacionales y no estacionales puede ser visto como un elemento central en las estrategias de las plantas para la ganancia de carbono.

Los argumentos de los autores mencionados anteriormente que justifican de gran manera las modificaciones que han desarrollado las especies de bosque seco para sobrellevar las estaciones muy marcadas.

6.1.3. Relación entre la foliación de especies caducifolias con los factores climáticos de la zona.

6.1.3.1. Precipitación y temperatura

Al comenzar la toma de fotografías en el mes de diciembre que es el último periodo de la temporada seca no existe la aparición de vegetación verde en la copa de los árboles; mientras que en el mes de enero con la presencia de las primeras lluvias existe una reposición de follaje del 57,50 % hasta el mes de marzo, con una temperatura constante de 27,62°C, para ambas épocas. Según Vílchez *et al.*, (2004) en su estudio, determinan que la brotación de hojas en bosques caducifolios comenzó a manifestarse con la entrada de las fuertes y esporádicas lluvias de febrero, y para marzo la reposición del follaje alcanzó al menos el 75%. Estos datos se ratifican con lo mencionado por Machado y

Barros (1996), en donde el patrón de formación de hojas estuvo fuertemente influenciado por la lluvia.

“Mejía, 1990 citado por Vélchez et al, 2004, señala en su trabajo sobre fundamentos y métodos en fenología, que para el trópico la precipitación ha sido el elemento de obligada utilización, pues es evidente la relación entre las variaciones en el suministro de agua y sus efectos en los procesos biológicos, en particular en los vegetales. Al igual que Bullock y Solís-Magallanes (1990) citado por Vélchez et al, 2004, en un estudio sobre fenología realizado en ciento ocho especies de árboles en una selva tropical caducifolia en México, mencionan que la fuerza principal que dirige el comportamiento fenológico es la lluvia, además, señalan que las condiciones del suelo y la hidrología de la zona son otros factores que influyen en el comportamiento fenológico de las especies analizadas.”

Borchert (1996), Opler *et al.*, 1980; Batanouny 1936) encontraron que las diferentes manifestaciones de las fenofases están relacionadas con tipo de zona de vida, la forma de vida y por la identidad de los individuos. Aunque, Vélchez *et al.*, (2008), señala que la precipitación influye de manera significativa en la aparición de hojas, también resulta que existen especies que pierden las hojas aun cuando el suelo está saturado de agua.

6.1.3.2. Humedad relativa y Radiación

En la reserva natural Laipuna se presentó una humedad relativa que se mantuvo constante con un 71,09 %, entre los meses de diciembre a marzo, mientras que para la radiación existe una divergencia obteniendo valores que van de 190,31 w/m² en febrero a 432,13 w/m² en marzo, que hicieron que la vegetación verde se manifieste de manera paulatina en la zona. Bettac Luise (2014), menciona que la mayor radiación solar medida se presenta en la zona de valle, determinando que la defoliación incrementó al igual que la radiación solar en la presencia de la época seca. Neill y Jorgensen (1999), manifiesta que una baja temperatura y menos radiación intensiva en altitudes más altas hacen que el bosque sea más denso.

La radiación solar y la disponibilidad de agua se supone que son los factores clave que controlan la fenología de la planta. Esto nos lleva a conjeturar que estas variables ambientales pueden estar implicados en el control de la abscisión foliar. Así, las especies con menor longevidad foliar (caducifolias) suelen presentar unas tasas altas de fotosíntesis, una concentración alta de nitrógeno en hoja, y área específica foliar elevada.

7. CONCLUSIONES

- La utilización de fotografías hemisféricas es un método prometedor para determinar la fenología foliar y con un bajo porcentaje de error, sin embargo muy susceptible a la influencia de factores climáticos, en particular la alta radiación solar y la presencia de lluvias.
- Existe un mayor porcentaje de follaje y área de la lámina foliar en el dosel de la parte alta ubicada a 1 082 msnm, principalmente debido a la presencia de mayor humedad y precipitación lo que conlleva a la existencia de un mayor número de especies perennes.
- Las condiciones climáticas como: precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar, unidas a la altitud, inciden de manera significativa en la disminución y aumento del porcentaje de vegetación en especies caducifolias, debido a que en las partes altas se presentan con mayor frecuencia menores temperaturas y radiación solar lo que influye que los bosques sean más densos.
- Individuos de la especie *Ceiba trichistrandra* ya se encontraban con follaje en el dosel al inicio del estudio que correspondía a la época seca y contradictoriamente se observó especies siempreverdes que pierden sus hojas al inicio de la estación lluviosa.
- En virtud de que la presente investigación fue realizada en el horizonte de un año considerando la presencia de las dos estaciones (seca y lluviosa), se considera los resultados como preliminares, debido a que puede existir variaciones de un año a otro de algunas especies.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones en donde se pueda evaluar el déficit de vapor de presión con datos de la zona baja y alta de la Reserva Natural Laipuna y como influyen en la fenología foliar.
- Se debe continuar, en un periodo de 5 años mínimo, con los seguimientos fenológicos en las parcelas establecidas para obtener datos más confiables.
- Profundizar investigaciones sobre las especies siempreverdes de la Reserva Natural Laipuna, que pierden sus hojas al inicio de la estación lluviosa.
- La presente investigación es parte del del proyecto macro “El consumo de agua y la captura de carbono en un bosque caducifolio de montaña como indicadores funcionales de los cambios ambientales en el sur de Ecuador”, y sus resultados servirán para futuras investigaciones donde puedan insertarse diferentes entidades como: (Ministerio del Ambiente), la Universidad Técnica Particular de Loja y otras Universidades del país.

9. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, Z. y Kvist, L. 2009. Composición florística y estructura de bosques estacionalmente secos en el sur-occidental de Ecuador, provincia de Loja, municipios de Macara y Zapotillo. *Arnaldo* 16(2): 87 – 99. ISSN: 1815-8242.
- Aguirre, Z. y Kvist L. y Linares R. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldo*. 13(2): 324 – 350. ISSN: 1815-8242.
- Aguirre, Z. y Delgado, T. 2005. Vegetación de los bosques secos de Cerro Negro Cazaderos, Occidente de la Provincia de Loja. 9-24 p.
- Aguirre, Z. 2001. Diversidad y composición florística de un área de vegetación disturbada por un incendio forestal. Tesis de Master en Ciencias. Riobamba, EC, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. 15 p.
- Anderson, M.G., 1966. Stand structure and light penetration. II. A theoretical analysis. *J. Appl. Ecol.* 3, 41–5
http://www.jstor.org/stable/2401665?seq=1#page_scan_tab_contents
- Andrade, J. L. 2005. Fisiología ecológica de árboles tropicales: Avances y perspectivas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2), 83-91.
- Batanouny, K, 1936. Plants in the deserts of the Middle East: adaptations of desert organisms.
- Bettac, H.L. (2014). Leaf Phenology of Deciduous and Abundance of Evergreen Tree Species in a Tropical Dry Forest of South Ecuador. Master Thesis, Georg-August-Universitaet Goettingen.
- Bonhomme, R., Varlet-Grancher, C. and Chartier, P., 1974. The use of hemispherical photographs for determining the leaf area index of young crops. *Photosynthetica*, 8(3): 299-301.
- Boojh, R., & Ramakrishnan, P. S. 1982. Growth strategy of trees related to successional status II. Leaf dynamics. *Forest Ecology and Management*, 4(4), 375-386 p.
- Borchert, R., 1996. Phenology and flowering periodicity of neotropical dry forests species: evidence from herbarium collections. *Journal of Tropical Ecology* 12, pp. 65-80.

- Bréda, N., 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *J. Exp. Bot.* 54, 2403–2417
Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/9044949_Ground-based_measurements_of_leaf_area_index_a_review_of_methods_instruments_and_current_controversies_J_Exp_Bot
- Bullock, S. H., & Solis-Magallanes, J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*, 22-35. Consultado: 02 de noviembre del 2015. Disponible en: http://www.jstor.org/stable/2388716?seq=1#page_scan_tab_contents.
- Castillo, N. y Castro, B, 1989. Estudio dendrológica y fenológico de las principales especies nativas del cantón Saraguro. Tesis de Ing. Forestal, Loja. Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencias Agrícolas. Loja. Ecuador. 4-19 p.
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., Plummer, S., 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *J. Geophys. Res.* 102, 29429–29443.
- Chianucci, F. y Cutini, A., 2013. Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: Current controversies and opportunities. *Agricultural and Forest Meteorology* 168. 130-139 p.
- Chianucci, F. y Cutini, A., 2012. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 10 p. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192312002766>.
- Chandra, S. 2013. Variation in evergreen and deciduous species leaf phenology in Assam, India. *Trees*. Department of Ecology and Environmental Science, Assam University, Silchar 788011, India
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., Plummer, S., 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *J. Geophys. Res.* 102, 29429–29443.
- Cueva, E; Rodas, F. 2006. Conservación participativa del bosque seco Laipuna. *Naturaleza & Cultura Internacional*. Tríptico. Loja – Ecuador.
- De Fina, A. y Reveló, A. 1985. *Climatología y fenología agrícola*. 4 ed. EUDEBA. Argentina. Pág. 217 – 219.

- Eamus D, 2006. Ecohydrology: Vegetation Function, Water and Resource Management. Isbn 0643068341, 384 p.
- Finegan, B. 1992. The management potential of Neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management*. 47. 295-321 p.
- Font Quer, P. 1953. *Diccionario de Botánica Labor*. Barcelona – España. Pág. 461.
- Fournier, L. 1976. El Dendrofenograma, una presentación gráfica del comportamiento fenológico de los árboles. *Revista de Biología Tropical*. Costa Rica. p. 25 – 96 – 97.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzman, K.P., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-color Fisheye Photographs, User's Manual and Program Documentation. Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada, pp. 36.
- Frazer, G., Trofymow, J. y Lertzman, K., 1997. A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques, Victoria, B.C.: Canadian Forest Service - Forest Ecosystem Processes Network.
- Grime, J. 2001. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd ed. Unit of comparative plant ecology. Department of Animal and Plant Sciences. University of Sheffield, UK
- Hawley, R. y Smith D. 1982. *Silvicultura práctica*. Edt. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 48 p.
- Hay R.H. y Kemp D.R. 1990. Primordium initiation at the stem apex as the primary event controlling plant development: preliminary evidence from wheat for regulation of leaf development. *Pl. Cell & Environ*. 13: 1005-1008. Consultado: 25 de diciembre del 2015. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/230354637_Primordium_initiation_at_the_stem_apex_as_the_primary_event_controlling_plant_development_Preliminary_evidence_from_wheat_for_the_regulation_of_leaf_development.
- Hill R (1924). A lens for whole sky photographs. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 50: 227-235.

- Janzen, D. H. 1988. Management of habitat fragments in a tropical dry forest: growth. *Annals of Missouri Botanical Garden*. Pág. 116.
- Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. & Coppin, P., 2005. Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 6 June. 96–114 p.
- Kikuzawa K, 1994. Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants Various types of shoot. *Can. J. Bot.* 73: 158- 163 (1995). Printed in Canada / Imprimé au Canada. Disponible en: http://eebweb.arizona.edu/faculty/saleska/Ecol596L/Readings/Kikuzawa95_optimal.leaf.phenology_Can.J.Forest.pdf. Consultado el 20 de diciembre del 2014.
- Koriba, K. (1948). On the origin and meaning of deciduousness viewed from the seasonal habit of trees in the tropics. *Ecology and Physiology*, 2, 85-93.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los Trópicos*. Trad. Dr. Antonio Castillo. Sección de Biometría Forestal de la Universidad de Freigung, Alemania. P.32.
- Lowman, M. D. (1992). Leaf growth dynamics and herbivory in five species of Australian rain-forest canopy trees. *Journal of Ecology*, 433-447p.
- Macfarlane, C., 2011. Classification method of mixed pixels does not affect canopy metrics from digital images of forest overstorey. *Agric. For. Meteorol.* 151,833–840.
- Macfarlane, C., Grigg, A., Evangelista, C., 2007. Estimating forest leaf area using cover and fullframe fisheye photography: Thinking inside the circle. *Agric. For. Meteorol.* 146, 1–12. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222889412_Estimating_forest_leaf_area_using_cover_and_fullframe_fisheye_photography_Thinking_inside_the_circle
- Machado, I.C.S.; Barros, L.M. 1996. Phenology of catting a species in Serra Talhada, PE Northeastern Brazil. *Biotropica* 29:57-68. Consultado: 02 de noviembre del 2015. Disponible en: <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=68975&fileId=S0266467401001201>.
- McLaren, K. P. y M. A. McDonald. 2003. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry in Jamaica. *Forest Ecology and Management*. 75 p.

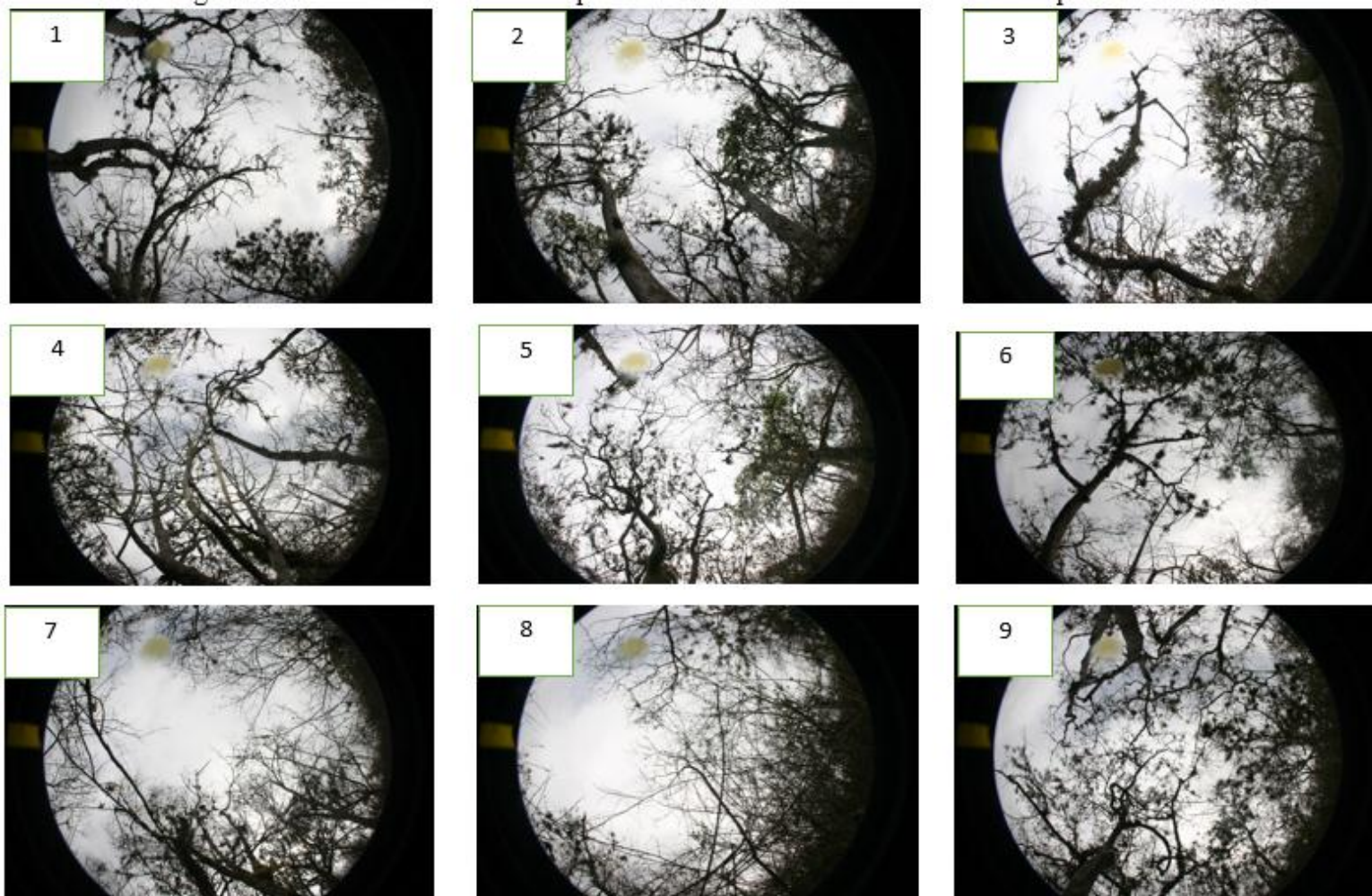
- Mejía, M. 1990. Fundamentos y métodos. Palmira – El Valle. Facultad de Ciencia Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia. Consultado: 02 de noviembre del 2015. Disponible en: <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/18362/18362.pdf>.
- Mussche, S., Samson, R., Nachtergale, L., De Schrijver, A., Lemeur, R., & Lust, N. (2001). A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forests. *Silva Fennica*, 35(4), 373-384. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: <http://www.metla.fi/silvafennica/abs/sa35/sa354373.htm>.
- Neill, D. & Jorgensen, P., 1999. Climates. In: P. JORGENSEN & S. LEON-YANEZ, eds. *Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador*. Missouri, USA: Missouri Botanical Garden Press, pp. 8-13.
- Opler, P., Gordon, W. & Baker, H., 1980. Comparative Phenological Studies of Treelet and Shrub Species in Tropical Wet and Dry Forests in the Lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* (68)1, pp. 167-188.
- Ortiz, R y Fournier, L. 1982. Comportamiento fenológico de un bosque pluvial premontano de Cataritas de San Ramón. Costa Rica. 69 p.
- Paladines, R. 2003. Propuesta de conservación del bosque seco en el sur del Ecuador. Fundación Científica San Francisco. Internet. En: [http://www.lyonia.org/Archives/Lyonia%20\(2\)%202003\(103230\)/Paladines%20P.,%20R.%3B%20Lyonia%20\(2\)%202003\(183186\).pdf](http://www.lyonia.org/Archives/Lyonia%20(2)%202003(103230)/Paladines%20P.,%20R.%3B%20Lyonia%20(2)%202003(183186).pdf).
- Prado, R; Valdebenito, M. 2000. Contribución a la fenología de especies forestales nativas Andinas de Bolivia y Ecuador. Quito – Ecuador, Ec, Intercooperation. 186p.
- Promis, A y Cruz G. 2009. Fotografías Hemisféricas: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile y Waldbau Institut, Universität- 15 p.
- Reich, P. & Borchert, R., 1984. Water Stress and Tree Phenology in a Tropical Dry Forest in the Lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, pp. 61-74. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: http://www.jstor.org/stable/2260006?seq=1#page_scan_tab_contents

- Rich, P., 1990. Characterizing Plant Canopies with Hemispherical Photographs. *Remote Sensing Review* 5, pp. 13-29. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757259009532119?journalCode=grsr20>
- Ríos, A.; Ríos, A. 2000. Fenología y propagación de tres especies de Podocarpaceas por semillas y estacas. Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja. Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 10-11.
- Rodes R & Collazo, M. 2006. Manual de Practicas de Fotosíntesis. 1 edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 137 p.
- Ryu, Y., Nilson, T., Kobayashi, H., Sonnentag, O., Law, B.E., Baldocchi, D.D., 2010. On the correct estimation of effective leaf area index: does it reveal information on clumping effects? *Agric. For. Meteorol.* 150, 463–472. Consultado: 03 de noviembre del 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/230817633_On_the_correct_estimation_of_effective_leaf_area_index_Does_it_reveal_information_on_clumping_effect
- Schneider, D., E. Schwalbe y H.G. Maas. 2009. Validation of geometric models for fisheye lenses. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64(3):259-266 p.
- Scholz, F; Bucci S; Goldstein, G; Meinzer, F; Franco, A. 2002. Hydraulic redistribution of soil water by Neotropical savanna trees. *Tree Physiology* 22:603-612 p.
- Sierra, R; Cerón, C; Palacios, W Y Valencia, R. 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF – BIRF y EcoCiencia Quito, Ecuador.
- Suárez, A. 1995. Estudio Botánico - Ecológico de algunas comunidades presentes en el Arboretum El Buey. Proyecto Sierra Imataca. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 71 p.
- Taiz L; Zeiger E 2006. Fisiología vegetal Volume 10 of Ciènces experimentals. Universitat Jaume. P 1338.

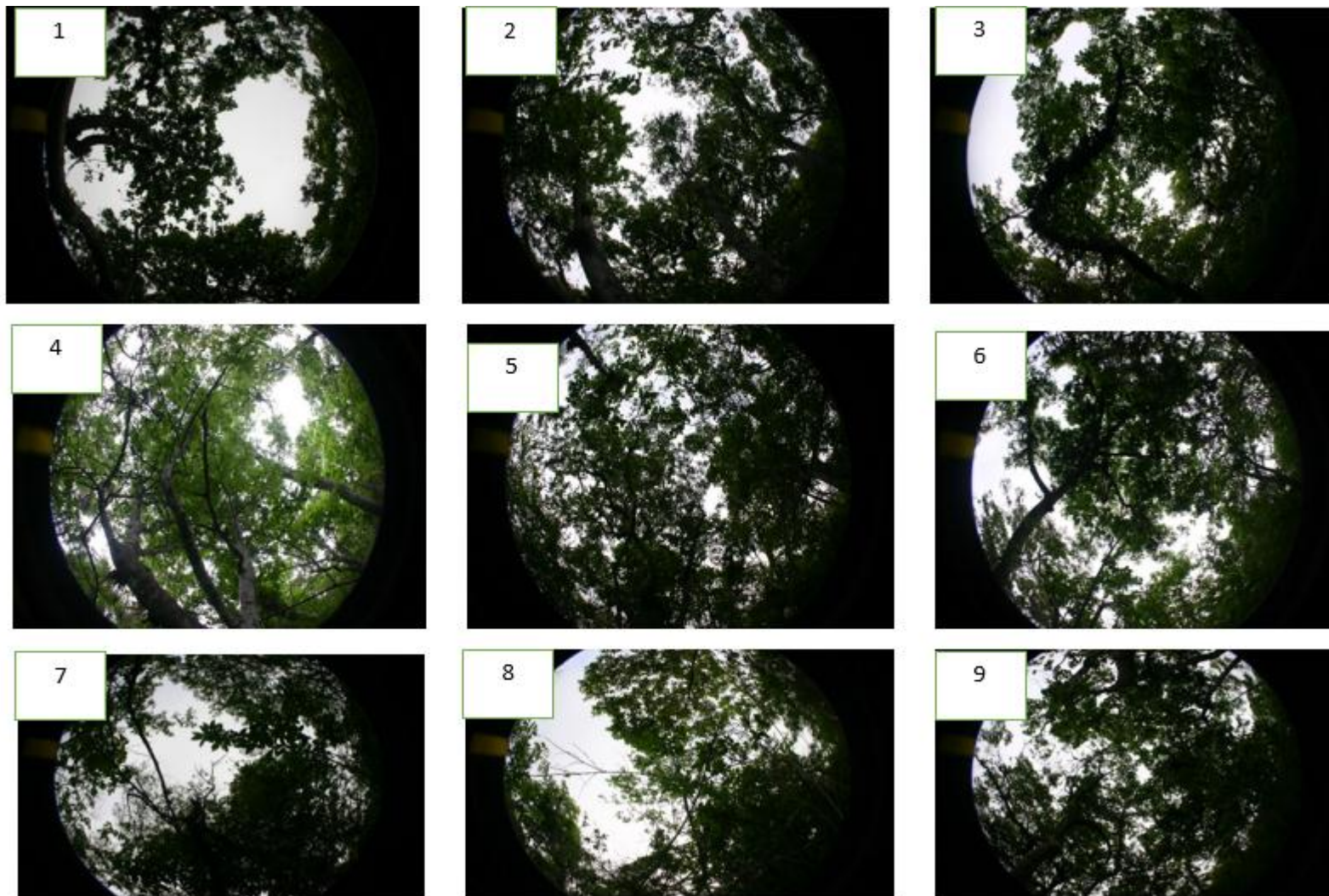
- Tenhunen, J; Catarino F; Lange O; Oechel W. 1985 Plant Response to Stress: Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems. Series G; Ecological Sciences, Vol. 15. Published in cooperation with Nato Scientific Affairs Division. 279 p.
- Theodore, D. 1982. Principios de silvicultura. Primera edición. Edt MegRAW-H, W.S.A. México. 119-139 p.
- Vílchez, B.; Chazdon, R.; Alvarado, W. 2008. Fenología reproductiva de las especies del dosel en bosques secundarios y primarios de la región Huetar Norte de Costa Rica y su influencia en la regeneración vegetal. Consultado: 01 de noviembre del 2015. Disponible en http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/antiores/anterior15/pdf/articulo%202.pdf.
- Vílchez, B.; Rocha, O. 2004. Fenología y biología reproductiva del nazareno (*Peltogyne purpurea* Pittier) en un bosque intervenido de la Península de Osa, Costa Rica, América Central. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(1). 14 p.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., 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*, 191-227 p.
- Weiss, M & Baret F. 2014. Can-Eye User Manual. *Agric. For. Meteorol.* 121: 17-53.
- Zhang, Y., J.M. Chen y J.R. Miller. 2005. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 133: 166-181.
- Zhili L, Chuankuan W, Jing M. C, Xingchang W, Guangze J. 2015. Empirical models for tracing seasonal changes in leaf area index in deciduous broadleaf forests by digital hemispherical photography. *Forest Ecology and Management*, 351, 10 p.

10. ANEXOS

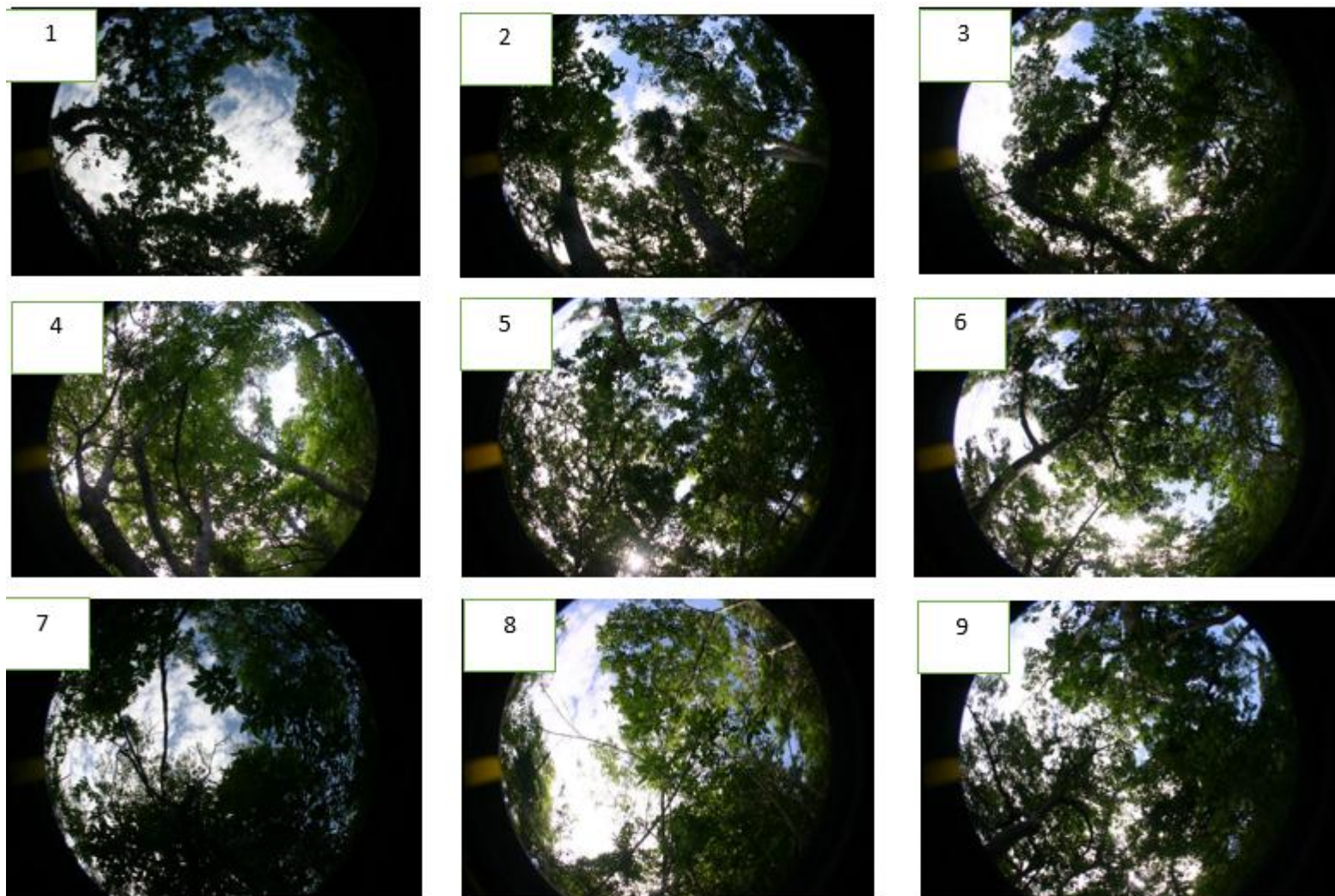
Anexo 1. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela alta



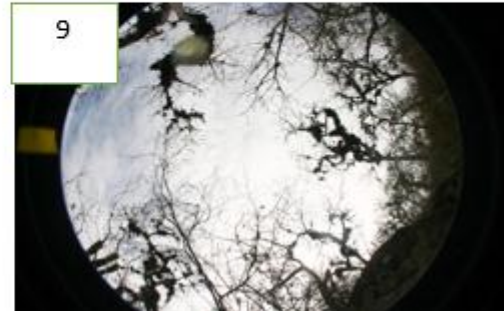
Anexo 2. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela alta



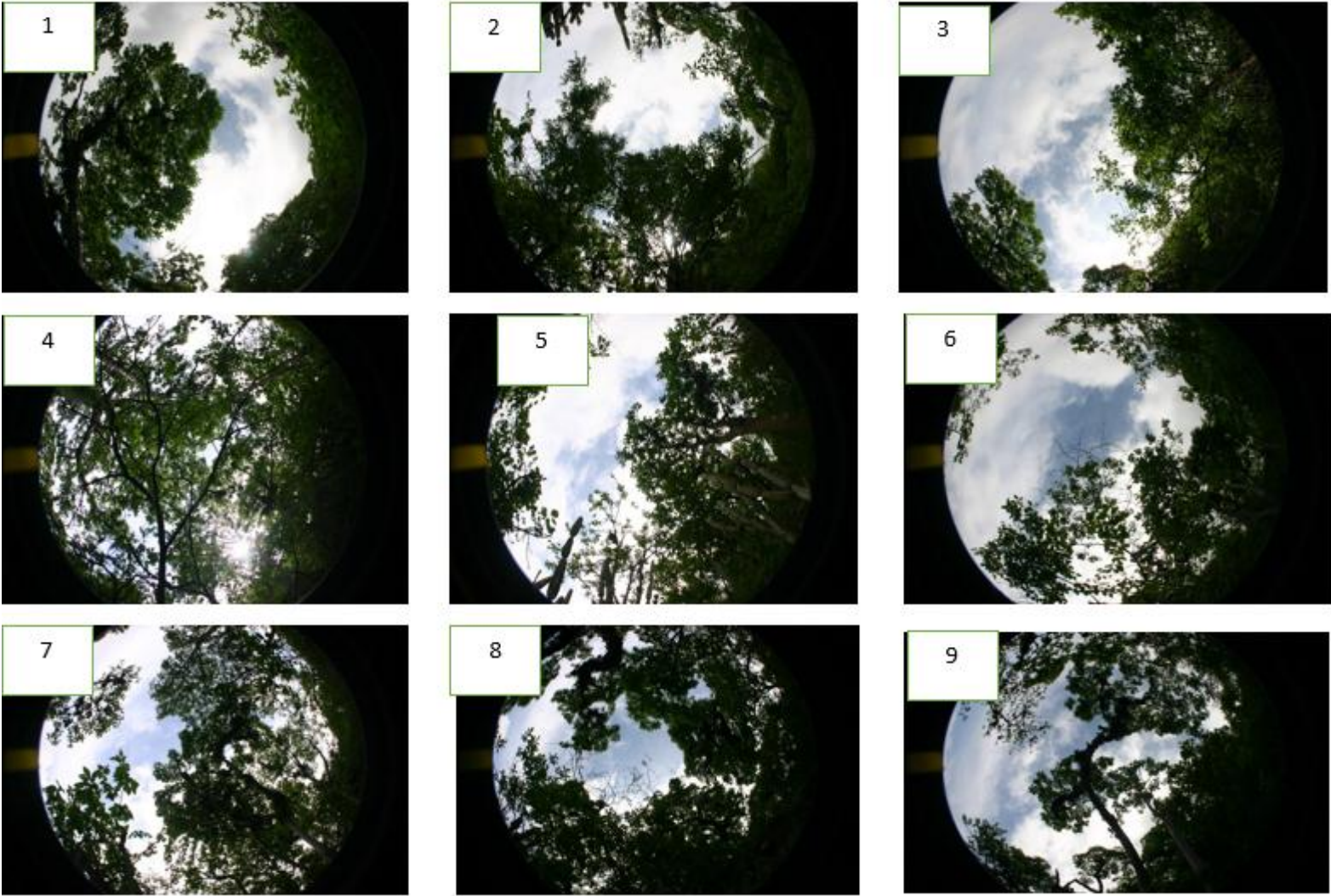
Anexo 3. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela alta.



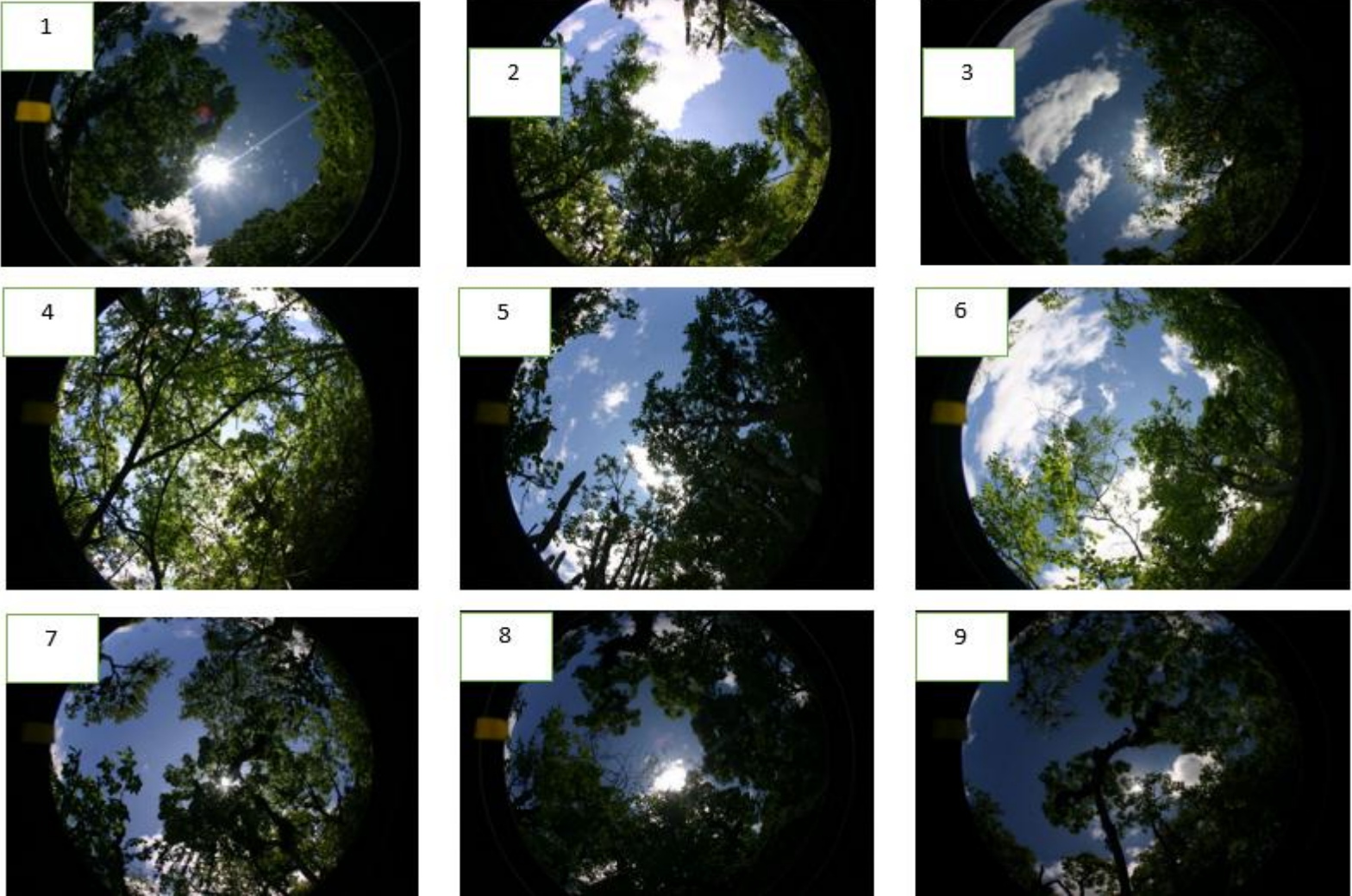
Anexo 4. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela media.



Anexo 5. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela media.



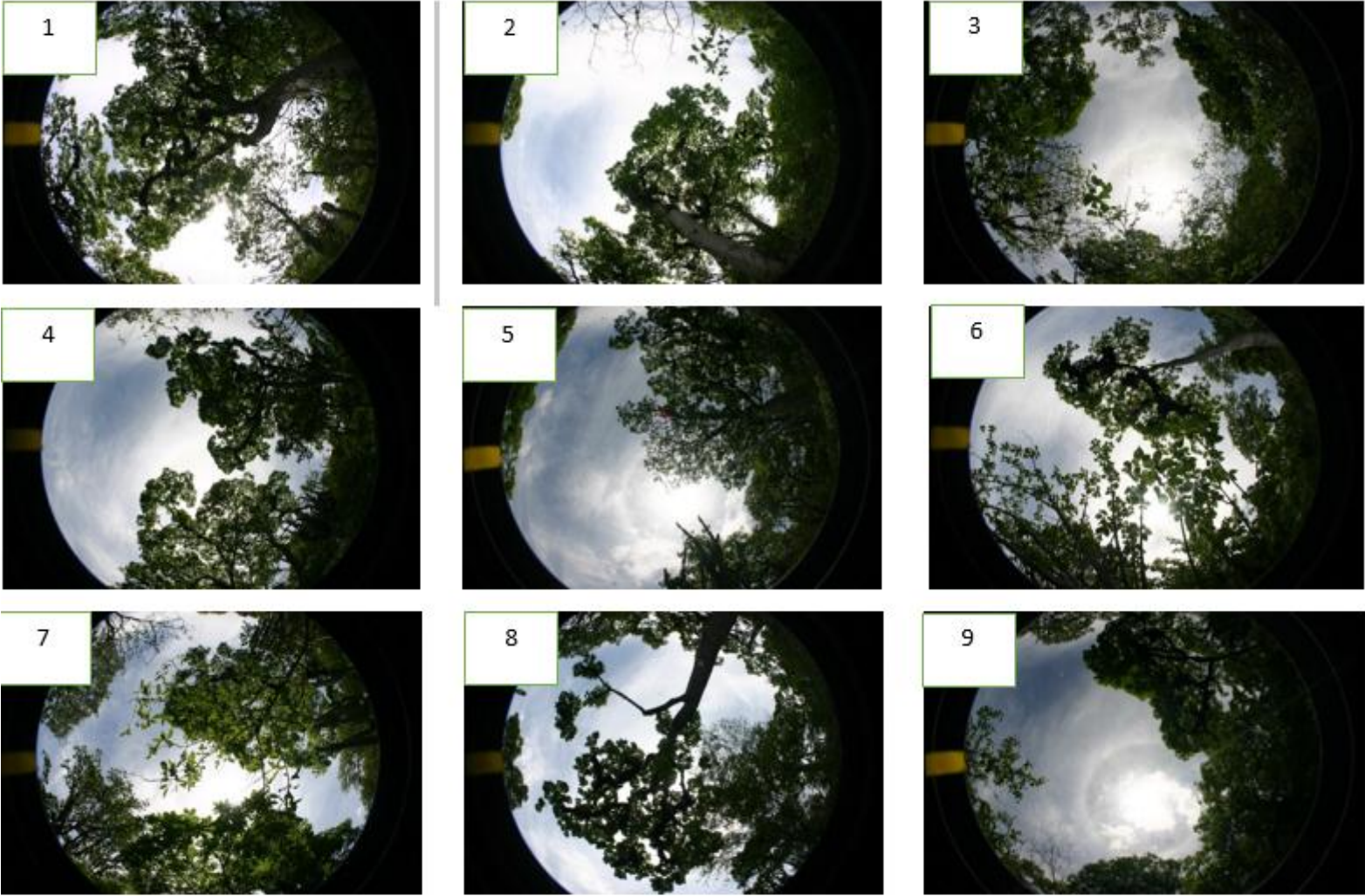
Anexo 6. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela media.



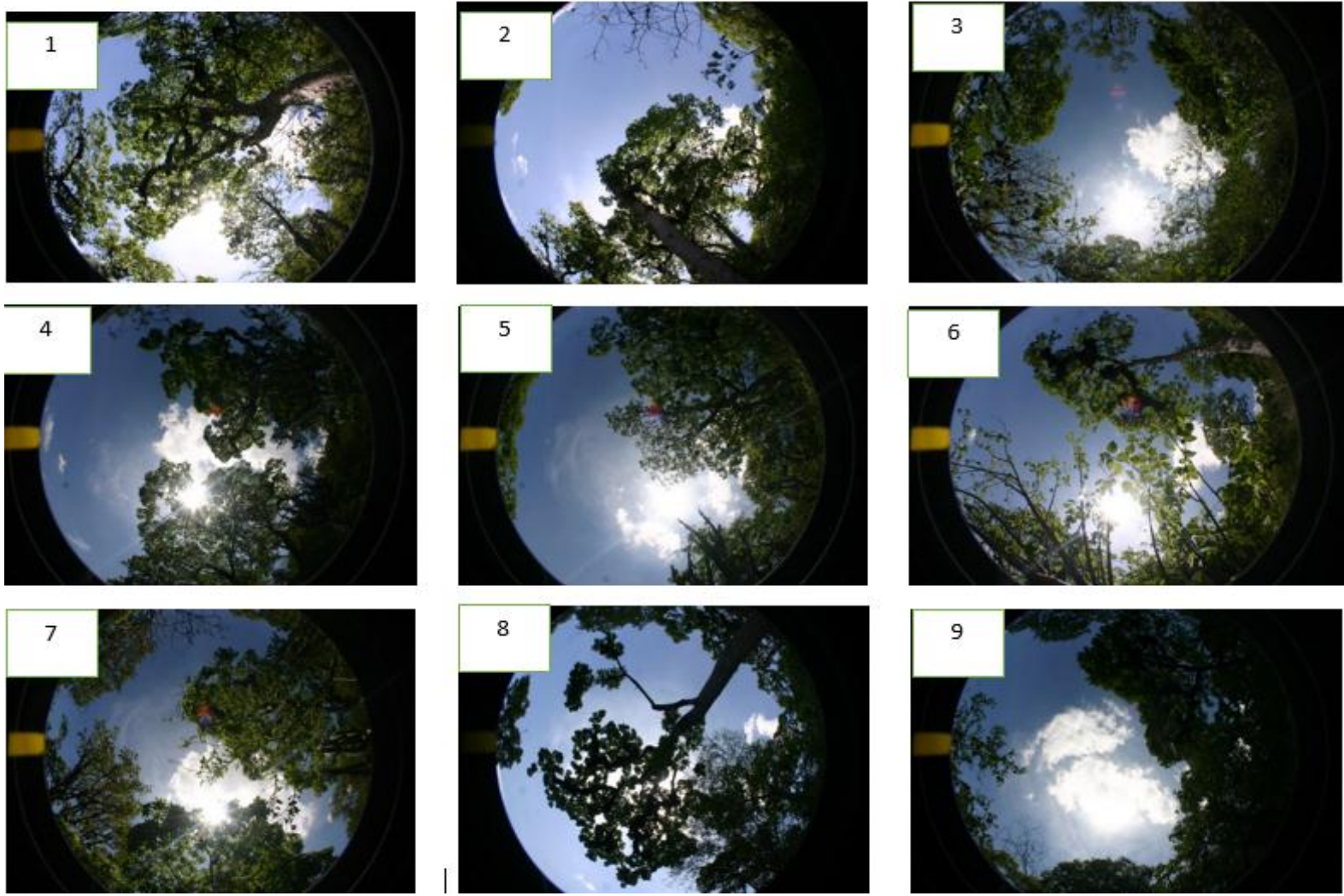
Anexo 7. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 27 de diciembre del 2014 de la parcela baja.



Anexo 8. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 12 de febrero del 2015 de la parcela baja.



Anexo 9. Fotografías hemisféricas de los nueve puntos del 01 de marzo del 2015 de la parcela baja.



Anexo 10. Resultados de la parcela "Alta" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.

Puntos	17th	27th	31th	3th	10th	14th	17th	5th	08th	12th	15th	17th	26th	1th	12th
	DIC	DIC	DIC	ENE	ENE	ENE	ENE	FEB	FEB	FEB	FEB	FEB	FEB	MAR	EMAR
	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI	LAI
	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv	efectiv
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)	(57.5°)
1	0,03	0,05	0,07	0,27	0,24	0,2	0,21	0,75	0,73	0,82	1,60	0,92	1,30	1,30	0,85
2	0,08	0,13	0,16	0,49	0,46	0,64	0,42	1,40	1,60	2,00	1,80	1,80	2,00	2,10	2,40
3	0,06	0,04	0,12	0,37	0,43	0,41	0,61	1,00	1,80	2,20	1,80	1,90	2,00	1,90	2,30
4	0,12	0,08	0,09	0,33	0,46	0,45	0,36	1,20	1,40	1,40	1,40	1,50	2,00	1,70	1,70
5	0,03	0,11	0,2	0,57	0,75	0,92	0,77	1,40	1,60	1,60	1,60	1,80	1,70	2,50	2,2
6	0,05	0,07	0,05	0,27	0,32	0,37	0,28	0,95	0,99	1,20	1,10	0,96	1,00	0,88	1,20
7	0,05	0,05	0,02	0,27	0,25	0,25	0,27	0,81	1,20	1,40	1,60	1,60	1,60	1,50	1,70
8	0,03	0,07	0,06	0,24	0,14	0,15	0,37	0,83	0,92	0,91	1,00	1,10	1,30	0,96	0,82
9	0,03	0,07	0,07	0,43	0,34	0,45	0,35	1,50	1,70	1,90	2,00	1,80	2,30	1,80	2,30
Cielo/Suelo	97	96	94	79	76	76	77	39	32	27	26	26	26	26	24
Vegetación verde	3	4	6	21	24	24	23	61	68	73	74	74	74	74	74
LAI efectiva (57.5°)	0,03	0,06	0,07	0,34	0,35	0,39	0,38	1,00	1,20	1,40	1,50	1,40	1,60	1,50	1,50
LAI verdadera	0,03	0,05	0,1	0,65	0,72	0,81	0,71	2,00	2,70	3,1	3,40	3,30	3,30	3,30	3,50

Anexo 11. Resultados de la parcela "Media" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.

Puntos	17th DIC	27th DIC	31th DIC	3th ENE	10th ENE	14th ENE	17th ENE	5th FEB	08th FEB	12th FEB	15th FEB	17th FEB	26th FEB	1th MAR	12th EMAR
	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)
1	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03	0,48	0,53	0,47	0,51	0,49	0,56	0,50	0,54
2	0,00	0,02	0,00	0,06	0,06	0,02	0,05	0,78	0,95	0,92	1,20	0,91	0,91	0,97	0,82
3	0,00	0,01	0,01	0,12	0,01	0,06	0,02	0,49	0,34	0,49	0,54	0,52	0,50	0,57	0,53
4	0,02	0,04	0,05	0,35	0,16	0,18	0,21	1,20	1,40	1,30	1,70	1,70	1,90	1,70	1,50
5	0,02	0,04	0,11	0,23	0,20	0,10	0,09	0,58	0,48	0,68	0,73	0,51	0,82	0,83	0,74
6	0,00	0,01	0,03	0,11	0,08	0,01	0,09	0,46	0,49	0,52	0,59	0,64	0,67	0,52	0,59
7	0,01	0,03	0,03	0,15	0,11	0,09	0,08	0,78	1,00	0,82	0,92	0,88	0,88	0,89	1,10
8	0,03	0,02	0,02	0,11	0,07	0,20	0,10	1,20	1,50	2,00	2,10	2,30	2,10	2,10	2,40
9	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,04	0,01	0,67	0,69	0,81	0,85	0,93	0,91	0,87	1,30
Cielo/Suelo	99,89	99,02	99	96	95	95	95	54	53	48	47	46	46	46	46
Vegetación verde	0,11	0,98	1	4	5	5	5	46	47	52	53	54	54	54	54
LAI efectiva (57.5°)	0,001	0,01	0,01	0,13	0,06	0,07	0,06	0,69	0,74	0,79	0,88	0,85	0,91	0,89	0,91
LAI verdadera	0,00	0,01	0,02	0,24	0,11	0,09	0,09	1,60	1,90	2,10	2,40	2,30	2,50	2,70	3,00

Anexo 12. Resultados de la parcela "Baja" con el software Can- Eye: Porcentaje del cielo / suelo y la vegetación verde, a partir de LAI efectiva, LAI verdadera.

Puntos	17th DIC	27th DIC	31th DIC	3th ENE	10th ENE	14th ENE	17th ENE	5th FEB	08th FEB	12th FEB	15th FEB	17th FEB	25th FEB	1th MAR	12th EMAR
	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)	LAI efectiva (57.5°)
1	0,01	0,05	0,05	0,18	0,27	0,25	0,35	0,99	1,20	1,20	1,00	1,10	1,20	1,10	1,20
2	0,04	0,02	0,05	0,09	0,17	0,11	0,19	0,47	0,52	0,46	0,46	0,49	0,50	0,50	0,46
3	0,00	0,00	0,00	0,13	0,05	0,02	0,04	0,92	0,57	0,94	0,78	0,91	1,10	0,84	1,10
4	0,03	0,06	0,02	0,15	0,24	0,13	0,19	0,75	0,82	0,85	0,84	0,93	0,93	0,94	0,95
5	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,13	0,22	0,47	0,33	0,42	0,46	0,53	0,59	0,53	0,45
6	0,01	0,01	0,01	0,11	0,14	0,08	0,15	0,60	0,64	0,79	0,69	0,67	0,57	0,52	0,63
7	0,00	0,03	0,01	0,08	0,07	0,09	0,14	1,20	0,96	1,00	1,10	1,10	1,30	0,99	0,92
8	0,03	0,02	0,03	0,07	0,11	0,05	0,16	0,75	0,84	0,76	0,86	0,84	0,90	0,77	0,91
9	0,00	0,01	0,01	0,08	0,10	0,00	0,12	0,62	0,58	0,60	0,66	0,65	0,68	0,61	0,64
Cielo/Suelo	99,60	99,34	99	95	94	94	91	55	55	54	52	52	52	56	55
Vegetación verde	0,40	0,66	1	5	6	6	9	45	45	46	48	48	48	44	45
LAI efectiva (57.5°)	0,00	0,01	0,01	0,09	0,12	0,08	0,14	0,71	0,67	0,75	0,72	0,76	0,80	0,74	0,76
LAI verdadera	0,01	0,01	0,02	0,12	0,16	0,11	0,22	1,70	1,70	1,90	1,90	2,00	2,40	2,00	2,50

Anexo 13. Resultados de la prueba “t” pareada para las variables vegetación y LAI con respecto a las dos estacionalidades

Temporada	Parcela	Obs(1)	Obs(2)	N	Media(1)	Media(2)	EE
Lluviosa	1	Vegetación	LAI	90	51,7	1,02	0,34
Lluviosa	2	Vegetación	LAI	90	35,6	0,88	0,79
Lluviosa	3	Vegetación	LAI	90	29,6	0,59	0,96
Seca	1	Vegetación	LAI	135	45,13	0,85	2,46
Seca	2	Vegetación	LAI	135	29,01	0,47	2,08
Seca	3	Vegetación	LAI	135	26,47	0,42	1,80