



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE  
RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA  
ESPERANZA – LA MANÁ, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero de Medio Ambiente.

Autor:

Wilson Marcelo Zapata Tello

Tutor:

Ph.D. Vicente de la Dolorosa Córdova Yanchapanta

Latacunga-Ecuador

Agosto - 2017

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Wilson Marcelo Zapata Tello declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANÁ, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”**, siendo el PhD Vicente de la Dolorosa Córdova Yanchapanta. Tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
Wilson Marcelo Zapata Tello

Número de C.I.:050257524-4

## **CONTRATO DE SECIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DEL AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte de Wilson Marcelo Zapata Tello, identificada/o con C.C. N° 050257524-4 de estado civil Soltera y con domicilio en el Barrio Lasso, Parroquia Tanicuchi, a quien en lo sucesivo se denominará **LA/EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA/EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería de Medio ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado de Titulación de Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.-

Fecha de inicio de la carrera: abril 2012-septiembre 2012

Fecha de finalización: Marzo 2016-Agosto 2017

Aprobación HCA.- 19 de julio del 2016

Tutor. - PhD Vicente Córdova

Tema: **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANA, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que

establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.-** Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.-** El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.-** El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.-** Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.-** El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.-** En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.-** Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare. En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 2 días del mes de Junio del 2017.

.....  
Zapata Tello Wilson Marcelo  
**EL CEDENTE**

.....  
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez  
**EL CESIONARIO**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANA, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”** de Zapata Tello Wilson Marcelo , de la carrera de Ingeniería De Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2017

El Tutor

.....  
PhD Vicente de la Dolorosa Córdova Yanchapanta  
C.I. 180163492-2

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Zapata Tello Wilson Marcelo con el título de Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANA, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Agosto del 2017

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**  
**Lic.Mg. Jaime Lema**  
**CC: 171375923-2**

---

**Lector 2**  
**Ing.Mg. Cristian Lozano**  
**CC: 060360931-4**

---

**Lector 3**  
**Ing.Mg. José Andrade**  
**CC: 050252448-1**

## **AGRADEDIMEINTO**

A Dios por fortalecer mi espíritu en el camino de la vida, a mi madre por su apoyo incondicional, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir, a mi padre que está ausente físicamente, ha sembrado en mi principios y valores para forjarme como una persona de bien, a mi hijo que es la motivación en los momentos de debilidad para cumplir mi meta.

A mis hermanas que me han brindado el calor de hogar, para sentirme seguro en la vida.

A la UNIVERSISDA TÉCNICA DE COTOPAXI por abrirme la puerta del conocimiento y sabiduría, forjarme como profesional.

A mi tutor, PhD Vicente Córdova. Por su apoyo impartiendo conocimientos y su disposición ante las dudas a lo largo del proyecto

A mis maestros que contribuyeron con sus grandes conocimientos académicos para poder desenvolverme en mi vida profesional en un futuro.

Wilson Marcelo Zapata Tello

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mi madre María que supo brindarme su apoyo y confianza para hacer de mí una mejor persona.

A mi padre Daniel que desde el cielo me ha dado la fuerza necesaria para seguir adelante y no decaer en los momentos difíciles.

A María José, Patricia, Janeth quien han sido fuente de motivación para seguir adelante, por su paciencia, motivación y apoyo incondicional en todo este tiempo.

Dedico este logro a cada persona que formo parte de este largo camino, a mi amigos que siempre me apoyaron durante todo este tiempo.

Wilson Marcelo Zapata Tello.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

### TITULO:” DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANA, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS”

**Autor: Wilson Marcelo Zapata Tello**

#### RESUMEN

Durante los últimos siglos se han observado una serie de cambios en las condiciones climáticas generadas del planeta, fenómeno que ha sido denominado "cambio climático global". Una de las causas es la limitación, para mantener un balance de carbono en los bosques húmedos tropicales y subtropicales debido a la relación de la radiación y la vegetación estarían en menor cantidad de tiempo realizando sus máximos de fotosíntesis. El problema se enmarca en la ausencia de información para la toma de decisiones en cuidado ambiental y la falta de medidas y políticas orientadas a la conservación de los ecosistemas. Esto se debe en parte a la insuficiente información técnica científica sobre la aplicación de métodos ópticos y de geometría de la canopía en la determinación de variables climáticamente esenciales de los bosques húmedos. Se aplicaron metodologías ópticas para la caracterización de variables esenciales para la calidad del clima en condiciones locales. Para esto se diseñó instrumentación analógica para la toma de imágenes hemisféricas. Se aplicaron modelos matemáticos mediante el cual se determinó la estrecha relación que existe entre, el índice de área foliar y la fracción de radiación fotosintéticamente activa. Se encuentra un área foliar de 3,05 metros cuadrados de vegetación por metro cuadrado de superficie que absorbe 29,7 mol por día de radiación y captan 32 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado anual. Estos resultados indican que el bosque húmedo es uno de los ecosistemas más productivos que contribuyen para mitigar el cambio climático.

**Palabras Clave:** trípode nivelante, aplicar métodos, lai, fapar, canopia, procesos biogeoquímicos, cambio climático

# **TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES.**

**TITLE:" DETERMINATION OF THE FOLIAR AREA INDEX AND FRACTION OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION IN THE HUMID FOREST THE ESPERANZA - THE MANA, BY OPTICAL METHODOLOGIES"**

**Author: Zapata Tello Wilson Marcelo**

## **SUMMARY**

During the last few centuries a series of changes in the climatic conditions generated on the planet have been observed, a phenomenon that has been called "global climate change." One of the causes is the limitation, to maintain a carbon balance in tropical humid forests and Subtropical due to the relationship of radiation and vegetation would be less time consuming cheira maximum photosynthesis. The problem is framed in the absence of information mor the decision maquino in environmental care and the lack of measures and policies oriented to the Conservarián of ecosystems. This is due in part to insufficient scientific technical information on the application of optical methods and canopy geometry in the determination of climatically essential variables of wet forests. We will apply optical methodologies for the characterization of essential variables For the quality of the climate in local conditions. For this, analog instrumentation was designed for hemispheric imaging. Mathematical models were applied to determine the close relationship between the leaf area index and the fraction of photosynthetically active radiation. There is a foliar area of 3.05 square meters of vegetation per square meter of surface that absorbs 29.7 mol per day of radiation and captures 32 kg of CO<sub>2</sub> per square meter annually. These results indicare that wet forest is one of the most productive ecosystems that contribute to mitigating climate change.

Key words: tripod leveling, apply methods, lai, fapar, canopy, biogeochemical processes, climate change.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE SECIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DEL AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vii
AGRADEDIMEINTO .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY .....	xi
ÍNDICE GENERAL .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	2
<b>3.1. Beneficiarios Directos.....</b>	<b>2</b>
<b>3.2. Beneficiarios Indirectos.....</b>	<b>3</b>
<b>4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
5. OBJETIVOS.....	4
<b>5.1. General.....</b>	<b>4</b>
<b>5.2. Específicos.....</b>	<b>4</b>
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÒN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
<b>7.1. BOSQUES HÚMEDOS PREMONTANOS BAJOS .....</b>	<b>7</b>
<b>7.1.1. Microclima del Bosque Húmedo .....</b>	<b>7</b>
7.2. PROCESOS BIOGEOQUÍMICOS.....	8
<b>7.2.1. Ciclo del Carbono .....</b>	<b>8</b>
<b>7.2.2. El Ciclo del Carbono en el Sector Forestal.....</b>	<b>9</b>
<b>7.3. EFECTO DE LA RADIACIÓN SOBRE LOS BOSQUES Y LOS ECOSISTEMAS.....</b>	<b>9</b>
<b>7.3.1. Estimaciones Indirectas del Ambiente Lumínico en el Bosque.....</b>	<b>10</b>
7.4. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	11
<b>7.5. MÉTODOS MÁS APLICADOS PARA MEDIR (LAI).....</b>	<b>12</b>

7.6.	FRACCIÓN DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA. ....	12
<b>7.6.1.</b>	<b>Importancia del (FAPAR).</b> .....	12
7.7.	FOTOGRAFÍA HEMISFÉRICA. ....	13
7.8.	CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA. ....	14
<b>7.9</b>	<b>SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES HEMISFÉRICAS.</b> .....	14
7.10.	SOFTWARE GLA (Gap Luz Analizador). ....	15
8.	HIPOTESIS.....	15
8.1	Hi Hipótesis Alternativa. ....	15
<b>8.2</b>	<b>H0 Hipótesis Nula</b> .....	15
9.	METODOLOGIA.....	16
<b>9.1.</b>	<b>Descripción del Área de estudio.</b> ....	16
<b>9.1.2.</b>	<b>Delimitación del área de estudio.</b> .....	17
9.2.	TIPOS DE INVESTIGACION.....	18
<b>9.2.1.</b>	<b>Investigación de campo.</b> ....	18
9.3.	MÉTODOS.....	18
<b>9.3.1.</b>	<b>Método analítico:</b> .....	18
9.4	TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO: .....	18
<b>9.4.1</b>	<b>Observación Directa:</b> .....	18
<b>9.4.2</b>	<b>Materiales y Equipos:</b> .....	19
9.5.	METODOLOGÍA PARA LAS ACTIVIDADES. ....	19
<b>9.5.1.</b>	<b>Diseño de instrumentación analógica</b> .....	19
<b>9.5.2.</b>	<b>Modelo matemático.</b> .....	20
<b>9.5.2.1.</b>	<b>El modelo de Poisson:</b> .....	20
<b>9.5.3.</b>	<b>Toma de fotografías hemisféricas</b> .....	21
<b>9.5.3.1.</b>	<b>Procedimiento toma de imágenes</b> .....	21
<b>9.5.4.</b>	<b>Procesamiento de imágenes.</b> .....	21
10	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	27
<b>10.1.</b>	<b>Dimensionamiento de instrumentación analógica</b> .....	27
<b>10.1.1</b>	<b>Dimensionamiento Cámara.</b> .....	27
<b>10.1.2</b>	<b>Dimensionamiento Lente.</b> .....	28
<b>10.1.3</b>	<b>Sensor foveon</b> .....	29
<b>10.2</b>	<b>Diseño Trípode Nivelante.</b> .....	29
<b>10.2.2</b>	<b>Marco Interior.</b> .....	30
<b>10.2.3</b>	<b>Marco Exterior.</b> .....	31

10.2.4 Soporte. ....	31
10.4. Prueba De Campo. ....	33
10.5. Aplicación de modelos matemáticos para calcular índice de área foliar (LAI) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR). ....	34
10.5.1. Definición del índice de área foliar. ....	34
10.5.2. Modelo para el cálculo del índice de área foliar (LAI) a analizador de canopy de la planta (Gap) Fracción ....	35
10.5.3. Estimación del índice de área foliar y la inclinación de la hoja a partir de las mediciones de la fracción de hueco. ....	36
10.6. Modelo para el cálculo de la fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR) ....	37
10.7. Determinación de las variables climatológicamente esenciales en base a la geometría de la canopía. ....	38
10.7.2 Análisis de la relación del índice de área foliar por pisos altitudinales. ....	42
10.7.3. Análisis del índice de área foliar por piso altitudinal. ....	43
10.7.4 Determinación de fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR)..	44
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS): .....	46
11.1. Técnicos. ....	46
11.2. Sociales. ....	46
11.3. Ambientales. ....	46
12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO. ....	47
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
13.1. CONCLUSIONES .....	48
13.2. RECOMENDACIONES: .....	49
14. BIBLIOGRAFIA .....	50
15. ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 1.- Aval del Abstrat. ....	53
Anexo 2.- Hojas de vida del tutor. ....	54
Anexo 4.- Diseño del trípode nivelante. ....	56
Anexo 5.- Protocolo de muestreo en el campo. ....	62
Anexo 6.- Fotografías hemisféricas tomadas en el primer piso altitudinal. ....	63
Anexo 7.- Fotografías hemisféricas tomadas en el segundo piso altitudinal. ....	64
Anexo 8.- Fotografías hemisféricas tomadas en el tercer piso altitudinal. ....	65
Anexo 9.- Materiales de campo. ....	66
Anexo 10.- Equipos utilizados en el campo. ....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Comunidad universitaria. ....	2
<b>Tabla 2:</b> Población beneficiaria del cantón La Maná.....	3
<b>Tabla 3:</b> actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. ....	5
<b>Tabla 4:</b> Coordenadas UTM. ....	17
<b>Tabla 5:</b> Resumen de variables estimadas. ....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1:</b> Ubicación del área de estudio. ....	16
<b>Figura 2:</b> Ubicación de los puntos de estudio. ....	17
<b>Figura 3:</b> Elección de imagen. ....	22
<b>Figura 4:</b> Selección de configuración. ....	23
<b>Figura 5:</b> Selección de configuración. ....	23
<b>Figura 6:</b> Imagen de trabajo. ....	24
<b>Figura 7:</b> Aplicación de colores y anillos en la imagen. ....	24
<b>Figura 8:</b> Representación exacta del cielo y de la sombra. ....	25
<b>Figura 9:</b> Calculo de resultados. ....	25
<b>Figura 10:</b> Información de referencia. ....	26
<b>Figura 11:</b> Registro de resultados. ....	26
<b>Figura 12:</b> Resultados. ....	27
<b>Figura 13:</b> Cámara SIGMA SD1. ....	28
<b>Figura 14:</b> Lente Circular Fisheye HSM. ....	28
<b>Figura 15:</b> Sensor foveon. ....	29
<b>Figura 16:</b> Base del Trípode. ....	30
<b>Figura 17:</b> Marco Interior. ....	30
<b>Figura 18:</b> Marco Exterior. ....	31
<b>Figura 19:</b> Soporte Cámara. ....	32
<b>Figura 20:</b> Ensamblaje del Trípode. ....	33
<b>Figura 21:</b> Prueba De Campo. ....	34
<b>Figura 22:</b> Imágenes hemisféricas por pisos altitudinales. ....	39
<b>Figura 23:</b> Determinación de (LAI). ....	40
<b>Figura 24:</b> Determinación de (LAI). ....	41
<b>Figura 25:</b> Determinación de (LAI). ....	42
<b>Figura 26:</b> Determinación de (LAI) de tres pisos altitudinales. ....	43
<b>Figura 27:</b> Media de (LAI) de tres pisos altitudinales. ....	44
<b>Figura 28:</b> Determinación de (FAPAR) por pisos altitudinales. ....	45

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

Determinación del índice de área foliar y fracción de radiación fotosintéticamente activa en el bosque húmedo La Esperanza –La Mana, mediante metodologías ópticas.

**Fecha de inicio:** Octubre 2016

**Fecha de finalización:** Agosto 2017

**Lugar de ejecución:** Parroquia La Esperanza, Cantón Pujilí – La Maná Provincia de Cotopaxi, Zona 3, Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Ciencias Agropecuarias Y Recursos Naturales.

**Carrera que auspicia:** Ingeniería De Medio Ambiente.

**Proyecto de investigación vinculado:** Proyecto de recuperación de germoplasma de especies vegetales de la zona noroccidental de la provincia de Cotopaxi.

### **Equipo de Trabajo:**

**Autor;** Marcelo Zapata.

**Tutor:** PhD Vicente Córdova.

### **Tribunal:**

Lector 1: Mg. Jaime Lema.

Lector 2: Ing. Cristian lozano.

Lector 3: Ing. José Andrade.

**Área de Conocimiento:** N° 85 Protección del medio ambiente Conservación, vigilancia y protección del medio ambiente, control de la contaminación atmosférica y del agua, ergonomía y seguridad.

**Línea de investigación:** N°5.- Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:** Impactos ambientales.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se planteó porque es necesario aplicar, metodologías ópticas para la caracterización de variables esenciales para la calidad del clima en condiciones locales.

Se aplicaron estas metodologías debido a que, en nuestro país, no existen métodos probados localmente, lo que ha resultado en una baja disponibilidad de variables climáticas para la zona.

Este proyecto presenta un potencial beneficio tanto a la comunidad científica como a los tomadores de decisiones en el ámbito de calentamiento global. También se beneficiarán estudiantes y docentes cuyo interés es este tipo de investigación.

Debido que los servicios que prestan este tipo de bosque como de regulación, los cuales permiten que las condiciones tiendan a cambiar poco y a oscilar dentro de rangos que nos permiten vivir, y regular los impactos de eventos extremos, entre otros. Estos servicios incluyen la regulación climática, la regulación de inundaciones y la protección ambiental está categoría de los servicios cuyos beneficios pueden ser tangibles o no tangibles.

El proyecto tendrá una gran relevancia debido a que se podrán identificar las variables climáticamente esenciales, dejando un legado como es las metodologías que se aplicarán en la investigación permitiendo hacer uso de ellas a generaciones venideras. En la práctica se puede utilizar como fuente de referencia para futuras investigaciones ambientales en el cambio climático

## 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

### 3.1. Beneficiarios Directos.

**Tabla 1:** Comunidad universitaria.

Docentes – Estudiantes Proyecto Banco de Germoplasma .Carreara de Medio Ambiente	705 hab.
--	----------

Fuente: INEC, 2010

Elaborado por: Marcelo Zapata

### 3.2. Beneficiarios Indirectos.

**Tabla 2:** Población beneficiaria del cantón La Maná.

<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>	<b>TOTAL</b>
<b>21.420</b>	<b>20.796</b>	<b>42.216</b>

**Fuente:** UTC

**Elaborado por:** Marcelo Zapata

## 4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Durante los últimos siglos se han observado una serie de cambios en las condiciones climáticas generales del planeta, fenómeno que ha sido denominado "cambio climático global" se ha especificado que una de las causas es la limitación para mantener un balance de carbono en los bosques debido a la relación con las temperaturas foliares estarían menor cantidad de tiempo realizando sus máximos de fotosíntesis. Por lo tanto, si bien la temperatura no es una limitante de la fotosíntesis puede ser un factor clave en determinar los efectos que tendría el calentamiento global sobre el desempeño fotosintético de los bosques (NAGY, 2009).

El problema se enmarca en la ausencia de información para la toma de decisiones en cuidado ambiental, la falta de medidas y políticas orientadas a la conservación de los ecosistemas. Insuficiente información técnico científica sobre la aplicación de métodos ópticos y de geometría de la canopía en la determinación de variables climáticamente esenciales de los bosques húmedos.

La reducida aplicabilidad local de métodos ópticos y de geometría de la canopía, no ha permitido realizar una determinación del índice de área foliar y fracción de radiación fotosintéticamente activa en el bosque húmedo. Las condiciones que se encuentra el bosque en la actualidad debido a la alteración de los ecosistemas y los beneficios que puede proveer como regulador del clima a base de la captura de carbono.

Por otro lado, la captura de carbono en bosque húmedo juega un gran papel para contrarrestar el problema del calentamiento global de la tierra; a medida que los bosques aumentan el

almacenamiento de carbono, éste es cada vez menor en la atmósfera, por lo tanto, el cambio climático disminuye.

Los bosques cumplen funciones principales en el cambio climático, como fuente de Dióxido de Carbono cuando se destruyen o degradan, como indicador de un cambio climático, como fuente de biocombustible y como sumidero de carbono. La ausencia de información para la toma de decisiones en cuidado ambiental, la falta de medidas y políticas orientadas a la conservación de los ecosistemas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

- ✚ Generar información de variables climáticamente esenciales del bosque húmedo mediante la aplicación de métodos ópticos y de geometría de la canopia.

### **5.2. Específicos**

- ✚ Diseñar instrumentación analógica para captura óptica de la geometría de la canopia.
- ✚ Aplicar modelos matemáticos para la caracterización de la geometría de la canopia del bosque húmedo La Esperanza-La Mana.
- ✚ Determinar las variables climáticamente esenciales en base a la geometría de la canopía.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

**Tabla 3:** Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

<i>Objetivo 1</i>	<i>Actividad</i>	<i>Resultado de la actividad</i>	<i>Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos):</i>
<b>Diseñar instrumentación analógica para captura óptica de la geometría de la canopia.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamiento</li> <li>• Diseño de trípode</li> <li>• Construcción del trípode auto nivelante.</li> <li>• Adquisición de cámara fotográfica y lente circular</li> <li>• Prueba en el campo</li> </ul>	Instrumentación analógica para toma de imagen hemisféricas	<p>Como técnica se utilizará la observación directa y de campo.</p> <p>Con el dimensionamiento se obtendrá las medias y materiales. Para el diseño se realizará en un software CAD-CAM-CAE permita efectuar un modelo con simulaciones cálculo de dimensiones y materiales necesarios la construcción se realizará con personal calificado y se realizará la prueba.</p>

<b>Objetivo 2</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos):</b>
<b>Aplicar modelos matemáticos para la determinación de la geometría de la canopia del bosque húmedo.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección y ajustes de algoritmos</li> <li>• Obtener datos de imágenes hemisféricas.</li> </ul>	Modelos matemáticos que determinaran las variables climáticas del bosque húmedo.	Registro de información e Instrumentos: Revisión de datos Relacionar los resultados obtenidos con los fines propuestos.
<b>Objetivo 3</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos):</b>
<b>Determinar las variables climatológicamente esenciales en base a la geometría de la canopía.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En base al desarrollo de los estándares establecidos por GTOS-FAO.</li> <li>• Establecer el (LAI)y (FAPAR) del bosque húmedo</li> </ul>	Cantidad de energía que ingresa al bosque por los claros del bosque.	Se aplicará el método analítico mediante la utilización de un software que permitirá identifica las partes claras que representará (FAPAR) y las partes oscuras el (LAI).

Elaborado por: Marcelo Zapata (2017).

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1. BOSQUES HÚMEDOS PREMONTANOS BAJOS**

Según (Cerón, 2003) el bosque húmedo dentro del piso altitudinal pre montano que tiene un aspecto húmedo. La mayoría de sus árboles son muy altos y rectos, alcanzando 25 m de altura, hay muchas hierbas, a pesar que existe una periodo seca de algunos meses con poca o ninguna lluvia, pero casi siempre existe importante humedad atmosférica. Durante todo el año –incluyendo los meses secos– la neblina cubre esa zona durante la tarde y la noche.

Según (Sierra, 1999) las precipitaciones caen asía el bosque de manera horizontal, la vegetación mantiene el follaje aunque algunos árboles pueden perder sus hojas al final de la estación seca. Existe cierta confusión referente a las formaciones de vegetación y sus nombres en los declives occidentales del sur de Ecuador. Confirmación

#### **7.1.1. Microclima del Bosque Húmedo**

El microclima define el conjunto de condiciones climáticas propias de un punto geográfico o área reducida y representa una modificación local del clima general de la región debido a la influencia de distintos factores ecológicos (Barnes B.V, 1998).

La presencia de cubiertas vegetales y particularmente de cubiertas forestales modifica los parámetros climáticos y crea un microclima cuyas particularidades dependen del clima general y de las características estructurales de la cubierta vegetal.(Burrows, 1990).

Según (GeigerR, 2003) debido a la alta acumulación de biomasa y a las dimensiones de los árboles, los bosques tienen una considerable influencia en los intercambios de energía entre la atmósfera y el suelo, actuando la cubierta vegetal sobre el comportamiento de la radiación solar, la precipitación, la humedad atmosférica, la temperatura del aire, el viento y la capacidad evaporaría del aire.

Según (Murty, 2002), manifiesta que “el crecimiento de las plantas se ve afectado por la temperatura del aire, la radiación solar y la humedad debido a que estos elementos influyen sobre los procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, la respiración, la germinación de semilla y la mortalidad”.

## **7.2. PROCESOS BIOGEOQUÍMICOS.**

Según (Houghton, 2003) La materia circula desde el mundo vivo hacia el ambiente abiótico y de regreso; esa circulación constituye los ciclos biogeoquímicos. Estos son procesos naturales que reciclan elementos en diferentes formas químicas desde el medio ambiente hacia los organismos, y luego a la inversa. Agua, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y otros elementos recorren estos ciclos, conectando los componentes vivos y no vivos de la Tierra.

La tierra es un sistema cerrado donde no entra ni sale materia. Las sustancias utilizadas por los organismos no se "pierden" aunque pueden llegar a sitios donde resultan inaccesibles para los organismos por un largo período. Sin embargo, casi siempre la materia se reutiliza y a menudo circula varias veces, tanto dentro de los ecosistemas como fuera de ellos (Houghton, 2003).

La materia circula desde el mundo vivo hacia el ambiente abiótico y de regreso; esa circulación constituye los ciclos biogeoquímicos. Estos son procesos naturales que reciclan elementos en diferentes formas químicas desde el medio ambiente hacia los organismos, y luego a la inversa. Agua, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y otros elementos recorren estos ciclos, conectando los componentes vivos y no vivos de la Tierra. (Houghton, 2003).

### **7.2.1. Ciclo del Carbono**

El carbono que se encuentra en la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> proviene de la actividad volcánica, del uso de combustible fósiles como petróleo, gas y aceites, de los incendios forestales y de la respiración de los seres vivos. Durante la fotosíntesis las plantas absorben (usan) él y liberan oxígeno. EL Carbono que forma parte de los vegetales llega al resto de los seres vivos a través de las cadenas alimenticias. Al morir plantas y animales, el carbón que forma parte de sus cuerpos pasa al suelo y puede ser usado de nuevo por otras plantas o forma parte del carbón o petróleo (después de miles de años en el subsuelo). Al usar los combustibles fósiles, quemar madera o por la erupción volcánica, el carbón vuela a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). Otros organismos descomponen las plantas muertas y las materias animales, devolviendo carbono al medio ambiente (Jones, 2002).

### **7.2.2. El Ciclo del Carbono en el Sector Forestal.**

Según (Binkley C. S., 1990) manifiesta que” la utilización sostenible de los bosques puede proporcionar una situación que beneficia a todas las partes: mantenimiento de las existencias de carbono en ecosistemas forestales sanos, cuyo costo podría compensarse mediante la producción continua de productos forestales, que por sí mismos ayudan a evitar las aportaciones directas de nuevo carbono a la atmósfera. Una buena ordenación forestal es parte de la solución”.

En los últimos 420 000 años o más, el balance mundial del carbono ha sido notablemente estable, con pequeñas modificaciones (más o menos del 20 por ciento) en el balance neto, expresado por las existencias de carbono atmosférico, acompañadas de fluctuaciones relativamente pequeñas (más o menos de 5°C) de la temperatura media mundial. Sin embargo, en el siglo XIX, se asistió al inicio de un cambio dramático en este balance que ya hoy en día ha experimentado un aumento del 68 por ciento del CO<sub>2</sub> en relación con la media de los 420 000 años anteriores, un aumento cuyas tasas siguen creciendo (Hendrickson, 1990).

Estas perturbaciones han sido directas, mediante la introducción de nuevo carbono al ciclo activo a través de la utilización de combustible fósil y el cambio en la utilización de la tierra, e indirectas, que afectan a la parte bioesférica del ciclo del carbono activo a través de otros cambios en el medio ambiente y de perturbaciones a otros ciclos mundiales biogeoquímicos.

La respuesta observada del sistema climático mundial a este cambio en los últimos 100 años, expresada en términos de temperatura media mundial, es modesta ( más de 0,6°C) pero ya se detectan sus efectos (CMNUCC, 1997).

### **7.3. EFECTO DE LA RADIACIÓN SOBRE LOS BOSQUES Y LOS ECOSISTEMAS.**

Según (Gallegos, 2004) manifiesta que la radiación solar produce dos tipos de procesos principales: los procesos energéticos (fotosíntesis); y los procesos morfogénicos La radiación solar es aprovechada por las plantas para realizar la fotosíntesis es el primer compuesto estable en el que aparece fijado el carbono es de 3 átomos de carbono la

planta se dice que es C3; por el contrario si es de 4 átomos de carbono se denomina C4, así en las C4, la ruta C3 está precedida por una serie de etapas adicionales en las que tiene lugar una fijación preliminar del dióxido de carbono formando un compuesto de cuatro átomos de carbono; las plantas CAM presentan una ruta metabólica similar a las C4 pero muestran un desfase temporal entre la captación del dióxido de carbono y su fijación. Dentro de las C3 tenemos la mayor parte de las plantas superiores incluyendo cultivos de climas templados (trigo, cebada o girasol) del tipo C4 destacan especies de climas áridos y otras de climas templados cálidos o tropicales (maíz, azúcar o sorgo,...). En general, se consideran las C3 menos productivas que las C4. Una de las diferencias se encuentra en el hecho de que la fotorrespiración es muy activa en las plantas C3.

La fotorrespiración se traduce en un consumo de oxígeno cuando están iluminadas y es muy importante en la agricultura de la zona templada; en un día caluroso y sin viento la concentración del dióxido de carbono sobre la planta decrece considerablemente debido a su consumo para la fotosíntesis, disminuye la relación dióxido carbono/oxígeno: disminuyendo la fijación del dióxido de carbono y aumentando la fotorrespiración. (Brisson, 2003).

### **7.3.1. Estimaciones Indirectas del Ambiente Lumínico en el Bosque.**

Muchos investigadores y profesionales prefieren las aproximaciones indirectas para estimar el ambiente lumínico en el interior del bosque debido a las dificultades para medir directamente la radiación solar bajo el dosel del mismo. Estas técnicas y métodos utilizan estimaciones de la cobertura y cierre del dosel o de la fracción de claros (Jennings et al., 1999).

Los medios más utilizados para estimar indirectamente el ambiente de radiación solar son la fotografía hemisférica (ojo pez), los densitómetros esféricos, las redes de punto (canopyscope), las mediciones de rodal y los modelos computacionales). La fotografía hemisférica se ha utilizado para estimar la estructura del dosel de copas y la transmisión de la radiación solar bajo el dosel en bosques templados, tropicales y nublados (Jiménez J., 2001).

Las fotografías se toman enfocando hacia el dosel con una cámara fotográfica (actualmente digital), en la que se encuentra montada una lente ojo de pez. Ésta es una técnica aprobada para estimar la transmisión de la radiación solar bajo el dosel, pero su

uso todavía debe ser verificado en ambientes extremadamente sombríos .Actualmente, existe una variedad de programas de cómputo (versiones comerciales y otros gratuitos) disponibles para el análisis de estas fotografías (Promis, 2009).

#### **7.4. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.**

Según (Yang, 2006) manifiesta que el Índice de área foliar (IAF) es una variable útil para caracterizar la dinámica y productividad de los ecosistemas forestales. Representa la cantidad de superficie foliar soportada (m<sup>2</sup>) por una determinada superficie de terreno (m<sup>2</sup>). Este índice es una variable clave en modelos ecológicos regionales y globales 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.

Según (Jonckheere, 2004) manifiesta que el índice de área foliar se define generalmente como el área de una cara (el haz) de tejido fotosintético por unidad de superficie horizontal de suelo y representa el tamaño de la inter fase planta-atmósfera, por lo que es la principal variable utilizada para modelar fotosíntesis y evapotranspiración, evaluar la radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR) y describir el microclima de la planta.

La siguiente ecuación nos permitirá 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 formula:  $LAI = \int l(h) dh$

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 15 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 vegetación o de su forma (Weiss, 2014).

## **7.5.MÉTODOS MÁS APLICADOS PARA MEDIR (LAI).**

Según (Velasco L.S., 2010) manifiesta que los métodos directos utilizados para medir el índice de área foliar resultan costosos, tediosos y destructivos, por lo que no son útiles para una aplicación a gran escala. Hay métodos indirectos que estiman el índice de área foliar a partir de otra variable, más fácil de medir como la transmisión de la luz a través del dosel en términos de fracción de huecos, que utilizan equipos como las fotografías hemisféricas (tomadas con lentes tipo "ojo de pescado").

También es posible hacer estimaciones mediante relaciones alométricas entre el índice de área foliar y otra dimensión más fácil de obtener, como altura del tronco o anchura de copa, etc.; sin embargo, estas relaciones deben ser definidas para cada especie y situación particular. En todo caso, la estimación a mediana o gran escala del índice de área foliar con mediciones de campo puede ser inviable, por lo que una opción puede ser teledetección (Jonckheere I., 2004).

## **7.6. FRACCIÓN DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA.**

### **7.6.1. Importancia del (FAPAR).**

Según (Gallegos, 2004) manifiesta que “la fracción de la radiación absorbida fotosintéticamente activa (FAPAR) es importante como variable de “entrada de energía en diversos procesos biológicos y su evaluación temporal tiene particular interés en el monitoreo de bosques y cultivos<sup>2</sup>. Los datos obtenidos mediante sensores remotos, son adecuados para proporcionar observaciones de fenómenos que se relacionan con aspectos ecofisiológicos de las cubiertas vegetales, incluyendo a la productividad primaria neta (NPP).

Ésta constituye una de las pocas fuentes de información acerca de los procesos del ciclo del carbono en escalas regionales o globales. La NPP se relaciona con la eficiencia del uso de la luz a través de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR) y representa un indicador agroecológico de utilidad para valorar la utilización productiva del territorio. (Zhang, 2005). La contribución directa al proceso de fotosíntesis en las plantas del bosque, regula indirectamente las características micro climáticas bajo dosel. Algunas de dichas características son: temperatura del aire, humedad relativa,

temperatura y contenido hídrico del suelo, que a su vez influyen sobre la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La descripción de la estructura del dosel mediante parámetros relacionados directamente con la misma, o indirectamente a través de los factores microambientales que ella genera, representan herramientas valiosas para caracterizar a los distintos tipos de bosques (Pukkala, 1991).

### **7.7.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, 1999) 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, 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 general, las imágenes 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 (Rich, 1990).

## **7.8. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA.**

Según (Chianucci F. C., 2013) manifiesta que la resolución de la imagen Alta resolución (1Megapíxel): permite discriminar mejor elementos pequeños de la vegetación y evitar los píxeles mezcla, sensibilidad de la imagen Alta sensibilidad: permite una mejor clasificación de la imagen. Índice de compresión de la imagen Baja compresión: una alta compresión de la imagen se traduce en un deterioro de la imagen y por tanto en pérdida de la información factores externos iluminación. Las imágenes de una misma unidad deben ser tomadas en condiciones similares de iluminación para que no haya una gran variación en el color de las imágenes. Horizontalidad La cámara se debe colocar lo más horizontalmente posible para que la adquisición sea desde el nadir la orientación de la cámara Es aconsejable localizar la posición de la cámara y del Sol para la estimación de diferentes parámetros relacionados con el régimen de radiación y el (FAPAR). Posición del operador (McLaren, 2003).

El operador debe situarse siempre en la misma posición para poder enmascararla misma zona de la imagen y no incluirla en la estimación. Características de la cubierta bajas (<30 cm) La cámara se sitúa sobre la cubierta a una altura cercana a la cubierta para poder distinguir mejor el suelo de fondo. Cubiertas intermedias (entre 30 y 70 cm) La cámara puede situarse tanto sobre la cubierta como al nivel del suelo. Cubiertas altas (> 70 cm) La cámara se sitúa al nivel del suelo. (McLaren, 2003).

## **7.9 SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE IMÁGENES HEMISFÉRICAS.**

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 auto nivelado. 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 (Cutini, 2013).

## **7.10. SOFTWARE GLA (Gap Luz Analizador).**

GLA se puede utilizar para analizar cualquier imagen de ojo de pez circular que se ha capturado utilizando una lente semiesférica de distancia focal corta (8 mm o menos) con un campo de visión de 180° completo (FOV) y una distorsión de proyección conocida. Las lentes de ojo de pez que tienen longitudes focales más largas (por ejemplo, 16 mm) y una FOV completa de 180° crean imágenes no circulares que se recortan en una o ambas dimensiones de la imagen. Estas imágenes no pueden ser analizadas usando GLA. Cuatro proyecciones estándar (por ejemplo, polares, ortográficas, estereográficas, Área de Igual de Lambert) y cualquier número de distorsiones de lentes personalizadas definidas por el usuario están soportadas por GLA.(Baret, 2014).

Cinco pasos simples son necesarios para analizar una fotografía de ojo de pez. El primer paso es abrir una imagen existente o escanear en una nueva. En segundo lugar, registrar la imagen de modo que se conozcan tanto la orientación como la extensión circular de la exposición. En tercer lugar, si es necesario, edite los ajustes de configuración para reflejar la posición y orientación del sitio, la duración de la estación de crecimiento y las condiciones atmosféricas. En cuarto lugar, el umbral de la imagen de modo que cada píxel se clasifica con precisión como un cielo (blanco) o no cielo (negro) píxel. Por último, ejecute los cálculos para calcular la estructura de la copa y / o los resultados de la transmisión de luz de hueco. (Cutini, 2013).

## **8. HIPOTESIS**

### **8.1 Hi Hipótesis Alternativa.**

La aplicación de métodos ópticos permitira determinar el índice de área foliar y fracción de radiación fotosintéticamente activa en el bosque húmedo La Esperanza – La Maná.

### **8.2 H0 Hipótesis Nula**

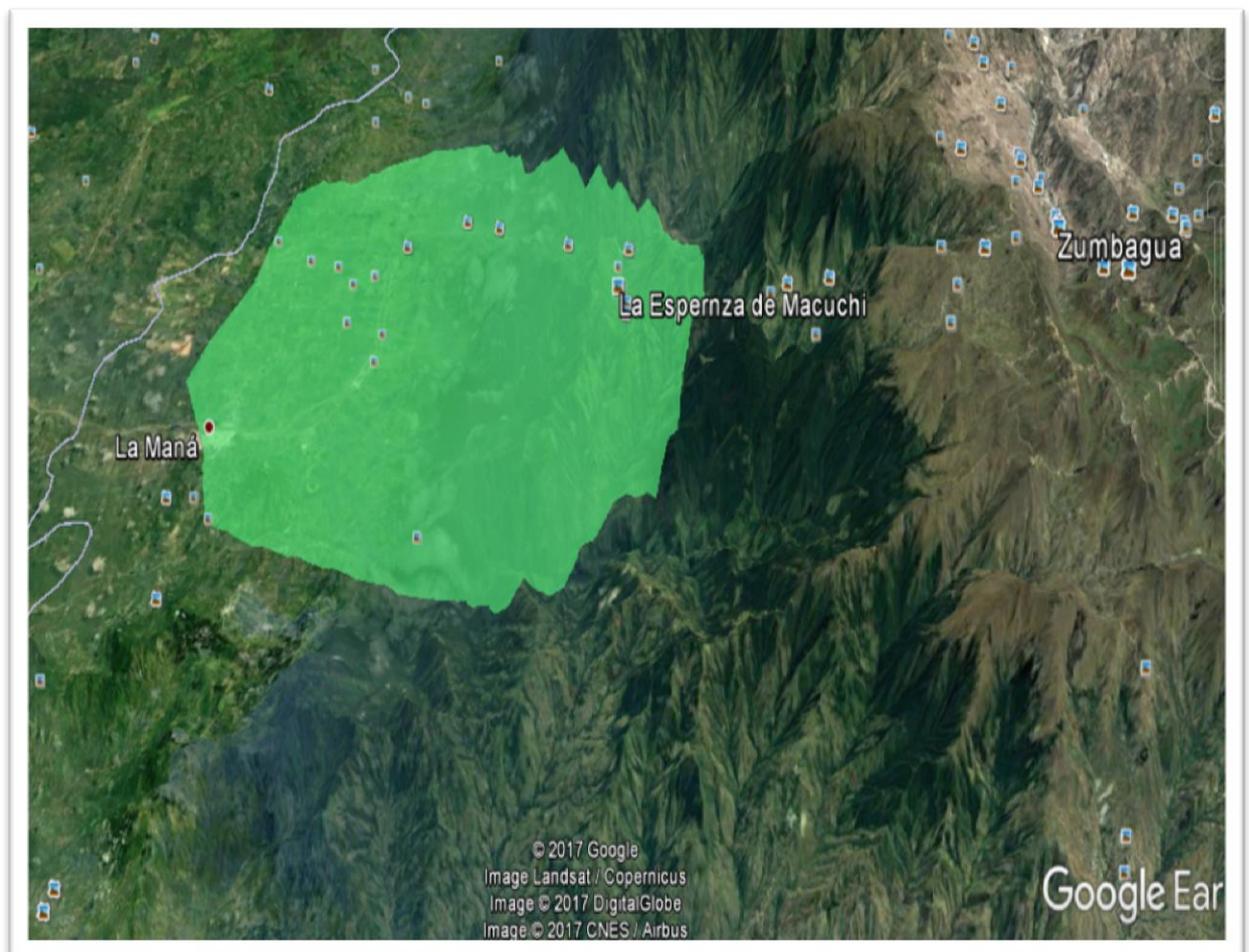
La aplicación de métodos ópticos no permitirá determinar el índice de área foliar y fracción de radiación fotosintéticamente activa en el bosque húmedo La Esperanza – La Maná.

## 9. METODOLOGIA

### 9.1. Descripción del Área de estudio.

El estudio se realizó dentro del Área del proyecto de “BANCO DE GERMOPLASMA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” en el bosque húmedo siempre verde piemontano de la Cordillera Occidental de los Andes dentro del piso altitudinal que va desde los 300-1400msnm y en el bosque húmedo siempre verde montano bajo de la Cordillera de los Andes dentro del piso altitudinal que va desde los 1400-2000msnm , ubicado en el sector La Esperanza-La Maná , el proyecto tendrá inicio desde el mes de Octubre 2016 hasta Agosto 2017. Investigación de campo, la ubicación se describen a continuación (Figura 1).

**Figura 1:** Ubicación del área de estudio.



**Fuente:** Google Earth (2016).

### 9.1.2. Delimitación del área de estudio.

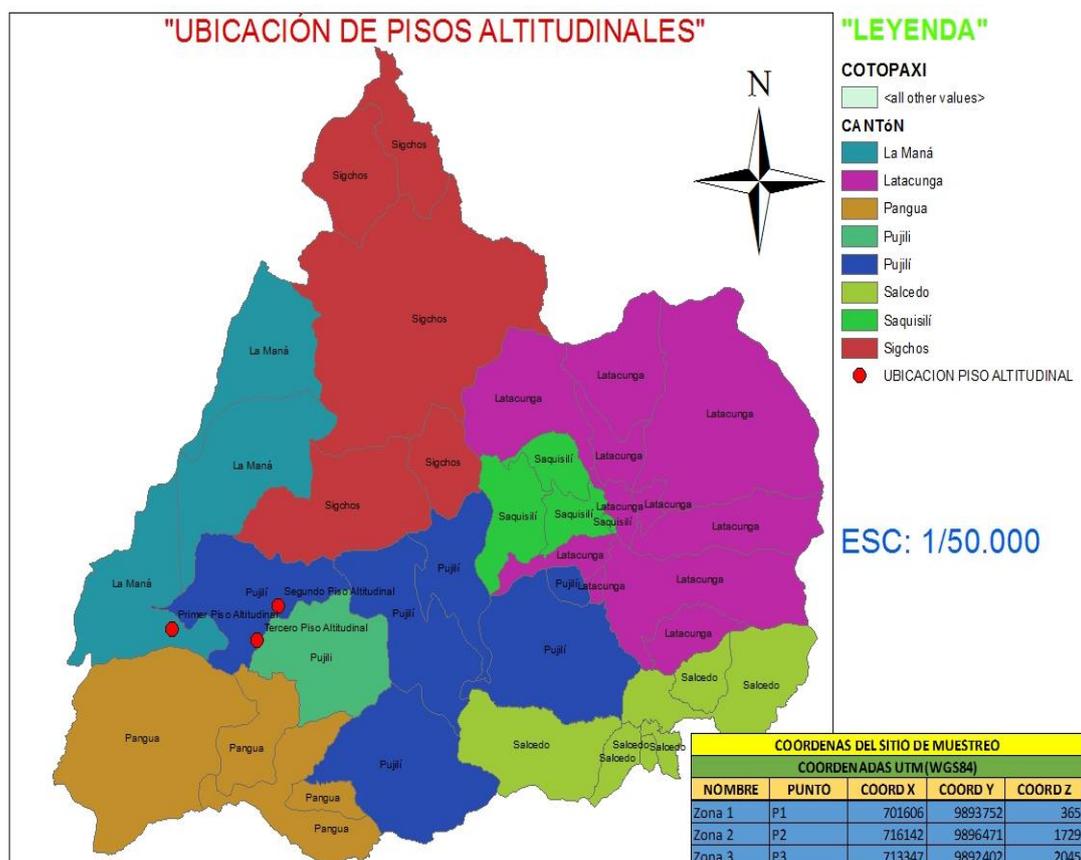
El estudio se realizó en el bosque húmedo La Esperanza-La Maná dentro de los tres pisos altitudinales cuyas coordenadas y ubicación se describe a continuación. (Tabla 4 y Figura 2.)

**Tabla 4:** Coordenadas UTM.

NOMBRE	PUNTO	COORD X	COORD Y	COORD Z
Primer Piso Altitudinal	P1	701606	9893752	365
Segundo Piso Altitudinal	P2	716142	9896471	1729
Tercero Piso Altitudinal	P3	713347	9892402	2045

Elaborado por: El Autor (2017).

**Figura 2:** Ubicación de los puntos de estudio.



Fuente: ArcGIS 10.1

## **9.2. TIPOS DE INVESTIGACION.**

### **9.2.1. Investigación de campo.**

Durante la investigación se realizó la toma de 14 fotografías hemisféricas por cada uno de los tres pisos altitudinales. Cada unidad de muestreo fue delimitada en un área de 20 m×20m, distribuidos en los intervalos de espacios, de acuerdo a la percepción del investigador. Cada unidad será geo referenciada con un receptor GPS, promediando las mediciones para minimizar el error posicional. En cada unidad de muestreo se tomaron la mayor cantidad de fotografías para y se seleccionó 14 imágenes hemisféricas (lente ojo de pescado) digitales con una cámara digital SIGMA-SDI, (Cutini, 2013) La cámara deberá estar sobre un trípode diseñado específicamente para este tipo de estudios y bien posesionado.

**9.2.2. Investigación Bibliográfica:** Este tipo de investigación permitió recopilar información acerca del tema de investigación la cual fue de gran ayuda ya que permitió tener una base teórica mediante fuentes bibliográficas y estudios realizados siendo de gran ayuda para la ejecución del proyecto.

## **9.3. METODOS.**

### **9.3.1. Método analítico:**

Este método permitió analizar la cantidad de luz que ingresa al interior del bosque húmedo permitió determinar las variables climáticamente esenciales y verificar si el método aplicado es el correcto en función de los resultados obtenidos.

## **9.4 TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:**

### **9.4.1 Observación Directa:**

Para la investigación facilito elegir el sitio adecuado de estudio, escoger la mejor ubicación de la cámara y obtener referencias cualitativas del lugar etc.

#### **9.4.2 Materiales y Equipos:**

##### **Materiales de campo.**

- Cámara
- Lente ojo de pez
- GPS
- Focos LED
- Trípode auto nivelante
- Fluxómetro
- Cinta de machaje
- Machete
- Libreta de campo

##### **Equipos.**

- Cámara
- Computador
- Impresora
- Flash de memoria
- Software: (GLA) y Excel 2015.

#### **9.5. METODOLOGÍA PARA LAS ACTIVIDADES.**

##### **9.5.1. Diseño de instrumentación analógica.**

- Dimensionamiento se realizó mediante la consulta de bibliografía para tener referencia de las dimensiones más probables o utilizadas para su elaboración de trípode auto nivelante se utilizará como base la cámara SIGMA- SDI disponible en la unidad.
- Diseño esta actividad se realizó en un sistema computarizado software como CAD-CAM-CAE que permitió efectuar un modelo con simulaciones .Permitió el cálculo de dimensiones y materiales necesarios para le ejecución del proyecto planteado.
- Construcción se realizó mediante personal calificado el cual fue encargado de elaborar lo plasmado en el diseño en un parte ya física como resultado se

obtendrá el trípode., se seleccionará los materiales de acuerdo a su flexibilidad uso en el campo y estructura.

- Prueba se realizó ya en el campo para su validación cumplió con las especificaciones muy estrictas y previamente determinadas como orientación y nivelación.

## 9.5.2. Modelo matemático.

### 9.5.2.1. El modelo de Poisson:

El modelo de Poisson expresa la probabilidad de no contacto del rayo solar con la cubierta como una función de la distribución angular de los elementos del follaje, del ángulo de penetración de la luz en el mismo y del índice de área foliar. Su expresión matemática es la siguiente:

$$P_0 = e^{-\frac{G(\theta, \theta') \cdot LAI_{eff}}{\cos(\theta)}}$$

Donde  $P_0$  es la probabilidad de no contacto del rayo con la cubierta,  $G(\theta, \theta')$  es la función que da la proyección de la hoja sobre el plano perpendicular al rayo incidente (función de distribución angular de los elementos del follaje), el ángulo  $\theta$  es el ángulo que forma el rayo incidente con el cénit y el ángulo  $\theta'$  es el ángulo que forma la normal a la hoja con el cénit. El LAI proporcionado por esta fórmula (LAI efectivo - LAI<sub>eff</sub>) incluye la superficie de ramas y brotes. La función  $G(\theta, \theta')$  según la fórmula original depende también del azimut, pero en este trabajo no se ha observado una orientación preferencial de las hojas según un ángulo determinado y hemos optado por la fórmula simplificada. La expresión de esta función según (REVÉ, 1999) es la siguiente.

$$G(\theta, \theta') = \begin{cases} \cos \theta \cdot \cos \theta' & \text{si } \theta + \theta' \leq 90^\circ \\ \frac{2}{\pi} \cdot \text{seno } \theta \cdot \text{seno } \theta' \cdot \text{seno}(\text{arco cos}(\cot \theta \cdot \cot \theta')) + (1 - \frac{2}{\pi} \text{arco cos}(\cot \theta \cdot \cot \theta')) \cdot (\cos \theta \cdot \cos \theta') & \text{si } \theta + \theta' > 90^\circ \end{cases}$$

### **9.5.3. Toma de fotografías hemisféricas**

#### **9.5.3.1. Procedimiento toma de imágenes**

El procedimiento para realizar la toma de fotografías hemisféricas se realizó de la siguiente manera:

- Ajustar la cámara a un trípode, debidamente orientado con una brújula para obtener el norte magnético que fue representado por un foco led color rojo y el sur con un foco de color amarillo. Para la nivelación se utilizó un nivel el cual permitió nivelar tomando en cuenta que se debe mantenerla fija y estable y evitar movimientos que puedan altera la imagen.
- La ubicación de la cámara fue de 1,30 metros del suelo.
- Con la ayuda de una brújula, se ubica la parte inferior del lente de la cámara en dirección al norte magnético.
- Se colocara la cámara en el centro de cada parcela y se tomaron la mayor cantidad de imágenes de las cuales se eligieron 14 fotografías hemisféricas.
- El número de fotografías es opcional, depende la imagen capturada, pero se recomienda tomar tres fotos para comparaciones y seleccionarla mejor. Es importante considerar el tiempo de apertura y exposición del lente, temporizador, todo controlado por el evaluador.
- Las fotografías se tomaron cuando el cielo este nublado lo más homogéneo posible, para optimizar el contraste entre el follaje y el cielo.
- Para el programa se utilizó análisis posterior de las fotografías, fue importante registrar otro tipo de información como: pendiente del terreno, altitud, posición geográfica y fecha de la toma de las fotografías.

#### **9.5.4. Procesamiento de imágenes.**

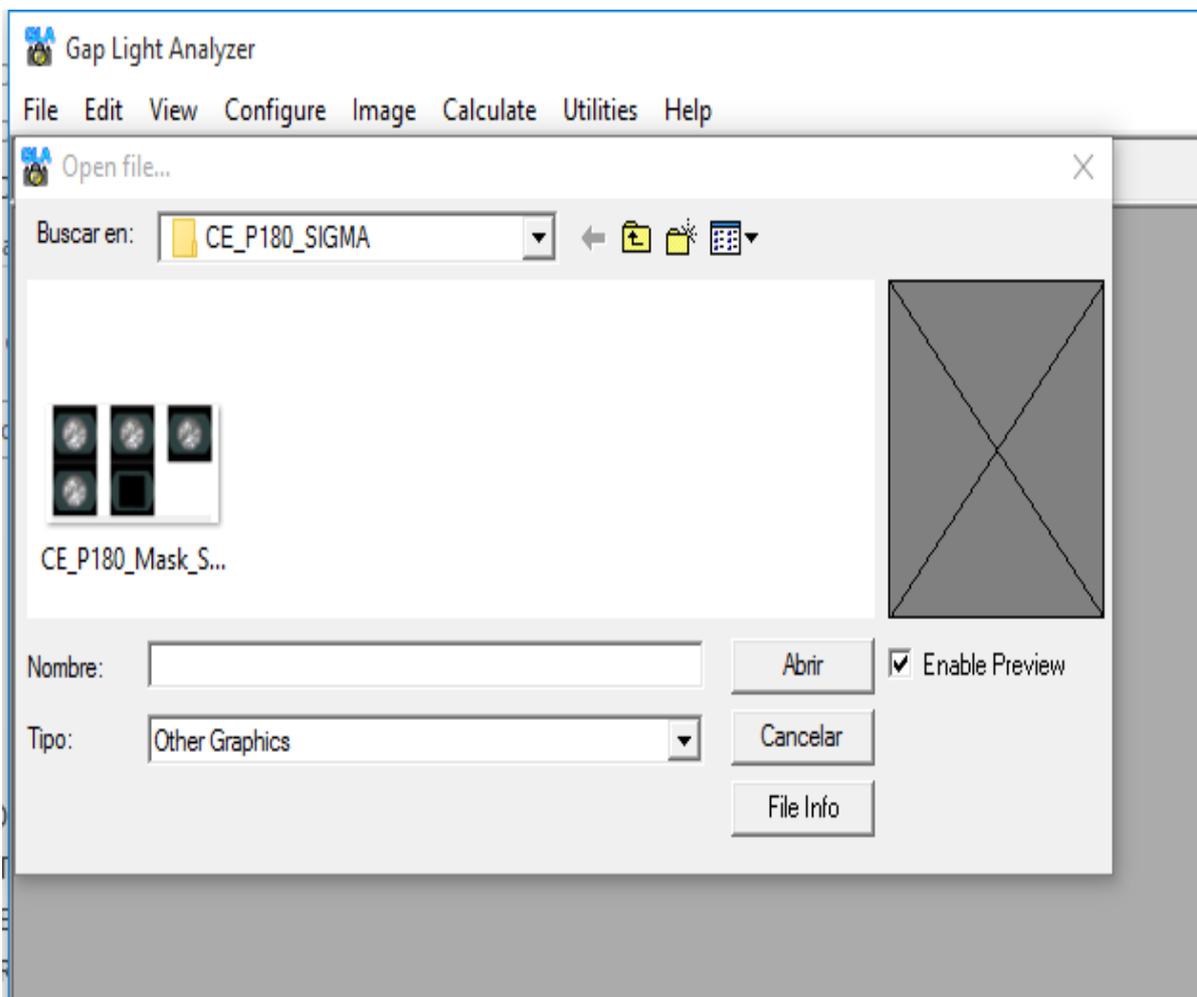
El análisis de las fotografías se realizó mediante un software GLA, para lo cual se realizara los siguientes pasos. (Frazer et al, 1999).

En el análisis de las fotografías utilizando el software de GLA, se siguieron los siguientes pasos.

1. Se guardaron las fotografías, para este caso, las que pertenecen a un sitio de estudio en una carpeta.

2. Iniciado el programa, se abrió un archivo de imagen. Las de este estudio serán del tipo de formato JPG.
3. Se ingresa a menú para abrir la imagen que se desea procesar se va a la opción file y se escoge la opción open imagen se procede a elegir la carpeta en donde se encuentre la imagen y clic en abrir. (Figura 1).

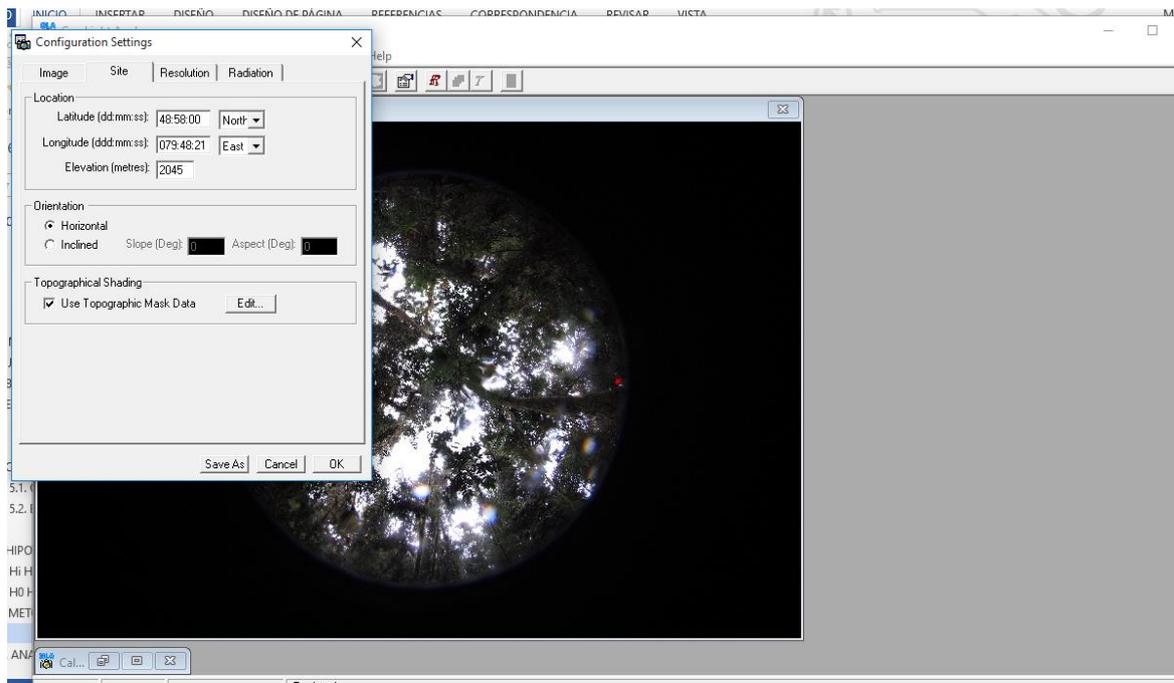
**Figura 3:** Elección de imagen.



**Elaborado por.** El Autor.

4. En el menú de configuración, se configuro el programa con los parámetros geográficos de cada sitio obtenidos en campo: latitud, longitud, elevación, pendiente (grados), y la fecha en que se tomaron las fotografías. La configuración se guarda para el resto del conjunto de imágenes de un sitio. En cada conjunto de imágenes de cada sitio se requiere configurar el programa (Figura 4).

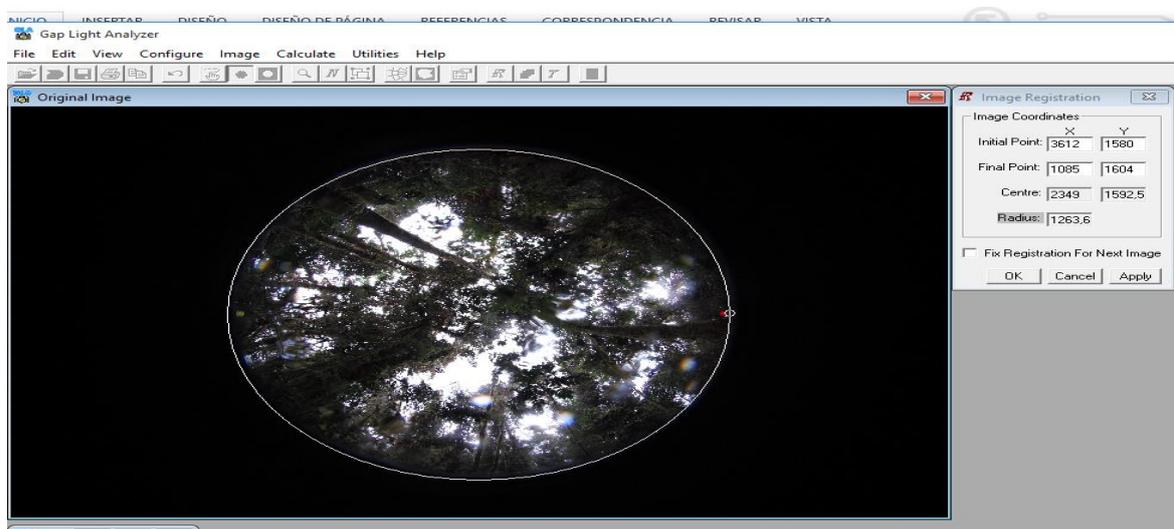
**Figura 4:** Selección de configuración.



Elaborado por. El Autor.

5. También en el menú Configuración, en registrar la imagen. Haciendo clic y arrastrando el cursor en forma de cruz en la parte inferior a la parte superior de la imagen. Se creará un círculo alrededor de la imagen. Luego se marcará la casilla para el registro de las imágenes siguientes, ya que las fotografías tienen la misma forma de la lente (Figura 5).

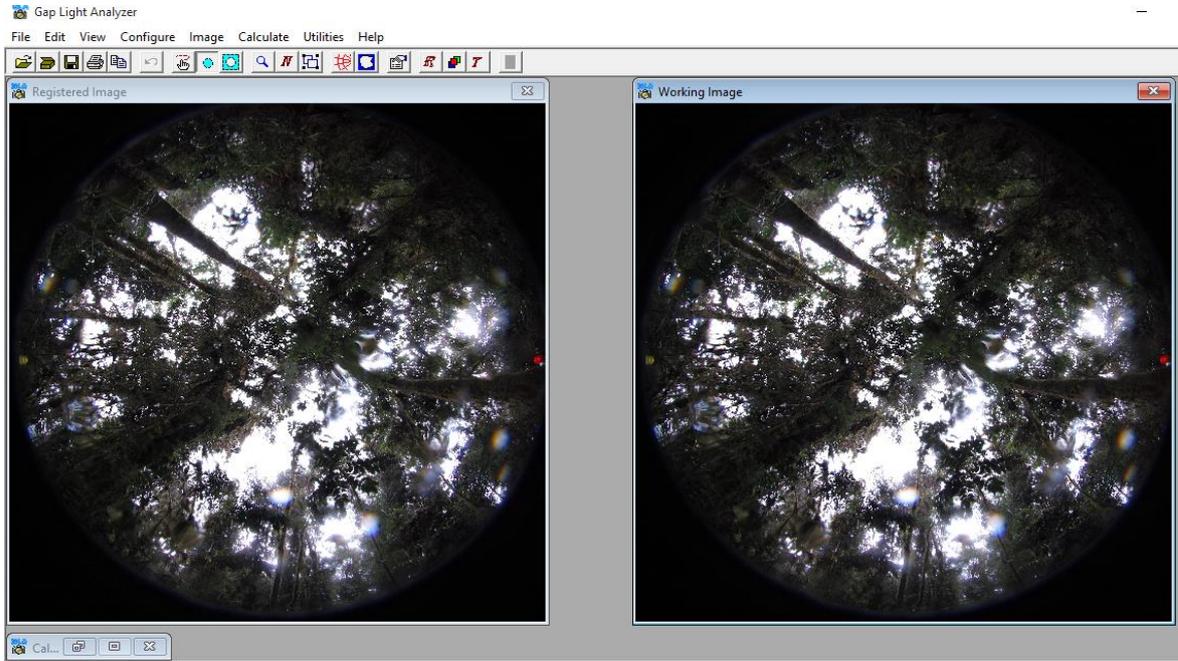
**Figura 5:** Selección de configuración.



Elaborado por. El Autor.

6. Clic en Aceptar y se abre una segunda imagen de trabajo (Figura 6).

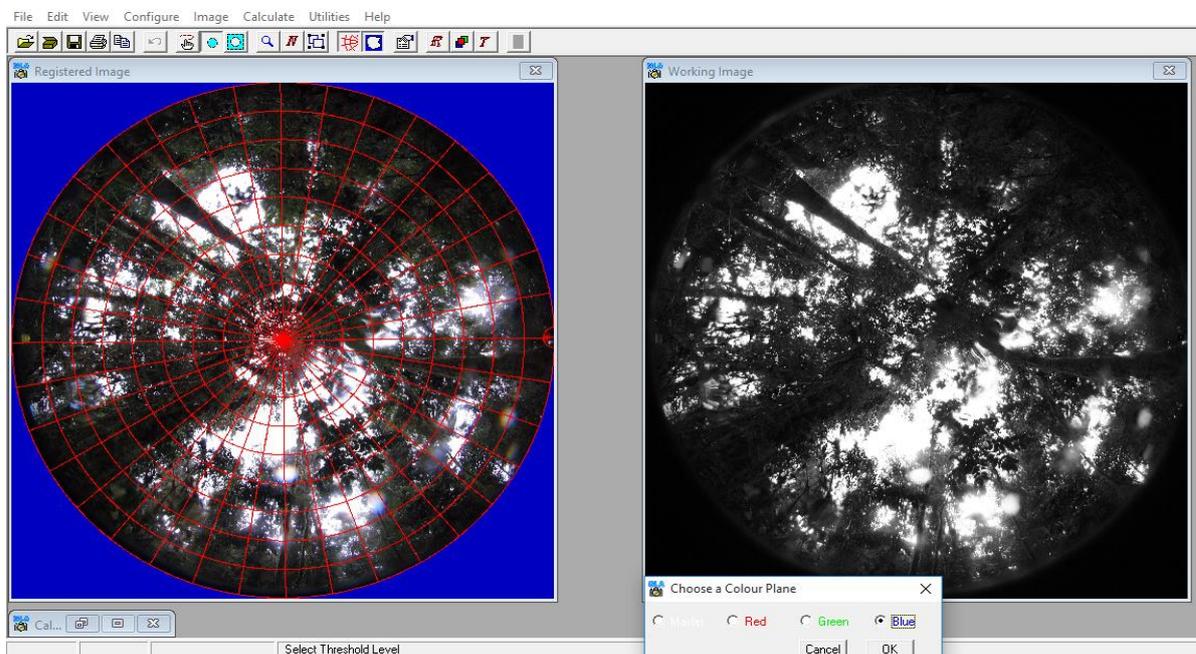
**Figura 6:** Imagen de trabajo.



Elaborado por. El Autor.

7. Se aplica la opción de colores y los anillos para separar los pixeles para el análisis de las imágenes (Figura 7).

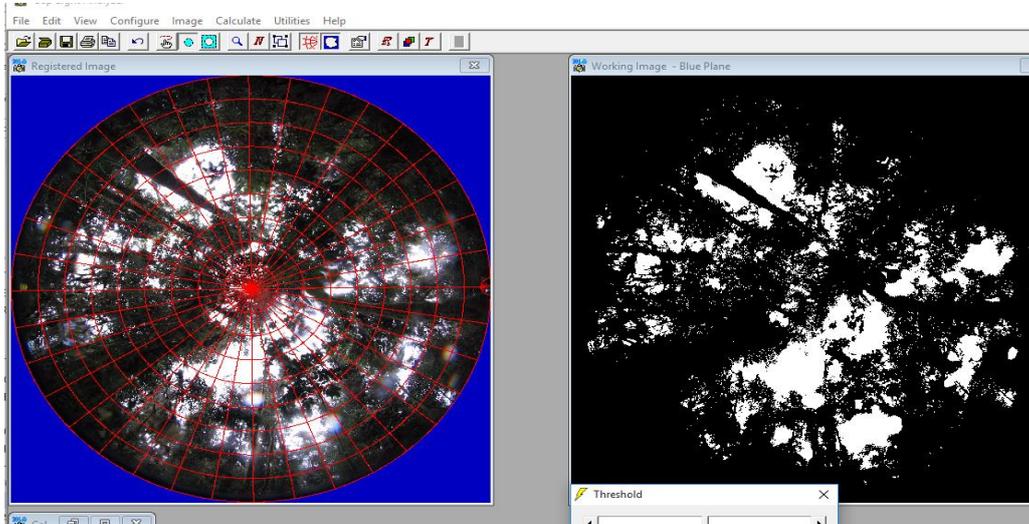
**Figura 7:** Aplicación de colores y anillos en la imagen.



Elaborado por. El Autor.

8. En el menú Imagen, se realizará un clic en el botón de Umbral. Se desliza el cursor hasta que se observe una representación exacta del cielo y de la sombra. Se mirará las dos áreas, oscuras y claras de la imagen original para asegurarse de que no haya sido sobre-correcta y Aceptar (Figura 8).

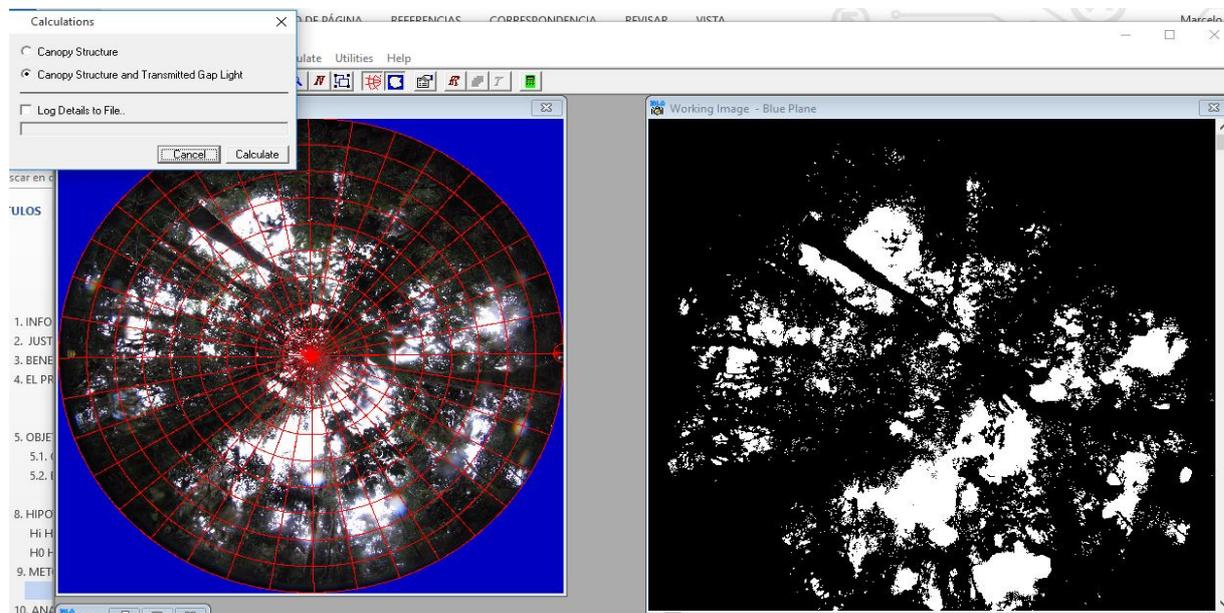
**Figura 8:** Representación exacta del cielo y de la sombra.



Elaborado por. El Autor.

Todas las fotografías se analizaron por la misma persona para minimizar la variación en la selección del umbral. Se ejecutarán los cálculos y se elegirán las opciones estructura del dosel y transmisión de luz por los claros (Figura 9).

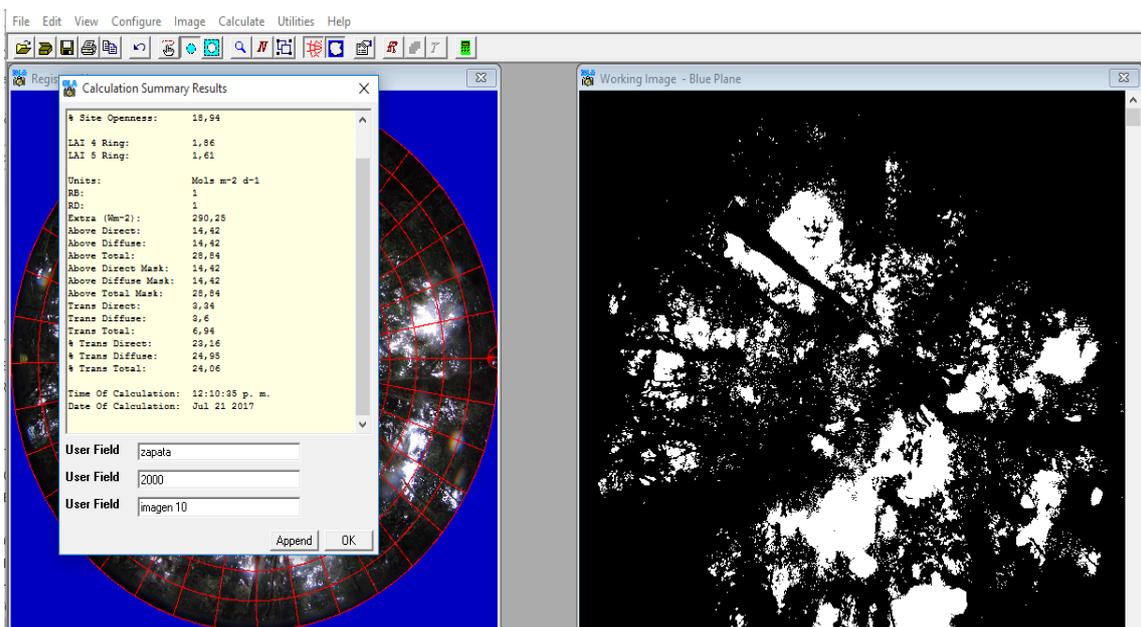
**Figura 9:** Calculo de resultados.



Elaborado por. El Autor.

9. En la ventana de resultados, se agregará información de referencia, tales como área, número de sitio, número de fotografía. Y después en anexara los resultados (Figura 10).

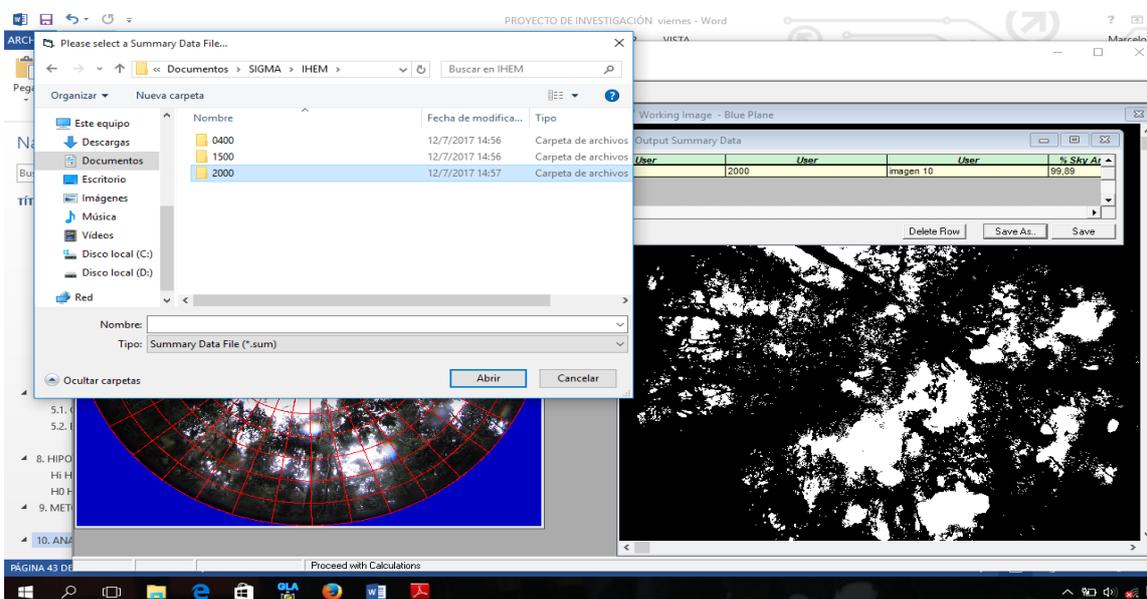
**Figura 10:** Información de referencia.



Elaborado por. El Autor.

10. Toda esta información se tomó como un nuevo registro en una carpeta de resumen. En esta carpeta de resumen se guardaron todos los cálculos ejecutados de cada una de las fotografías analizadas (Figura 11).

**Figura 11:** Registro de resultados.



Elaborado por. El Autor.

11. Por último paso se abre la carpeta en donde se encuentran todos los datos del procesamiento de imágenes para su respectiva interpretación (Figura 12).

**Figura 12: Resultados.**

Area	% Mask Area	% Cnpy	Open	% Site	Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Units	RB	RD
	;0,12	;25,08	;25,08	;1,56	;1,35	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,12	;7,76	;7,76	;3	;2,85	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;6,64	;6,64	;3,15	;2,86	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,1	;12,4	;12,4	;2,45	;2,26	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,14	;9,23	;9,23	;3,55	;2,79	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;11,86	;11,86	;2,47	;2,26	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;6,73	;6,73	;3,1	;2,77	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;6,26	;6,26	;3,13	;2,88	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;6,31	;6,31	;3,16	;2,87	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,1	;6,17	;6,17	;3,16	;2,89	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,11	;6,47	;6,47	;3,14	;2,85	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,1	;6,9	;6,9	;3,08	;2,76	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,1	;6,21	;6,21	;3,15	;2,89	;Mols m-2 d-1	;1	;1		
	;0,12	;6,17	;6,17	;3,16	;2,91	;Mols m-2 d-1	;1	;1		

Elaborado por. El Autor.

## 10 .ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 10.1. Dimensionamiento de instrumentación analógica

#### 10.1.1 Dimensionamiento Cámara.

Para el estudio se utilizó una Cámara SIGMA SD1 la cual consta de un sistema de procesado de imagen preparado para una mayor resolución, excelente rendimiento con un ángulo de visión equivalente a aproximadamente a 1,5 veces la distancia focal de la lente , el tamaño del sensor de imagen es de 23,5 x 15,7 mm con una resolución de 48 píxeles con un obturador focal plano controlado electrónicamente con una velocidad de 1/8000 - 30 segundos las dimensiones de la cámara son 145.5 mm / 5.7 "(W) x 113.5 mm / 4.4" (H) x 80.0 mm / 3.1 "(D) con un peso de 700g garantizando un alto nivel en calidad de imagen. (Velasco L.S., 2010) (Figura 13).

**Figura 13:** Cámara SIGMA SD1.



**Fuente:** wwwcamara sigma .com .

### 10.1.2 Dimensionamiento Lente.

Para el estudio se utilizó un Lente Circular Fisheye HSM crea una imagen que es una vista circular, curvada, distorsionada de la realidad produce una imagen circular dentro de un marco negro circundante. Debido a su sistema de proyección de ángulo equisólido, la lente puede utilizarse para aplicaciones científicas. La distancia de enfoque mínima de 5,3 pulgadas permite al fotógrafo divertirse con la colocación de sujetos extremadamente cerca de la cámara con fondos distorsionados, el recubrimiento de la lente reduce el brillo y las imágenes fantasma y asegura una alta calidad de imagen en toda la gama focal sus dimensiones son (Diámetro x longitud) 76,2 x 77,8 mm con un peso de 470g contiene también un ángulo de visión de 180° una distancia mínima de enfoque de 13.5 cm. (Zhang, 2005) (Figura 14).

**Figura 14:** Lente Circular Fisheye HSM.



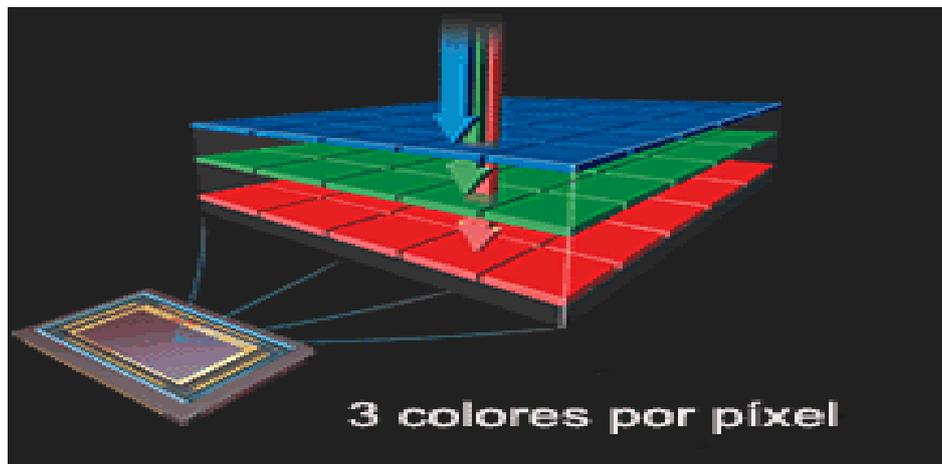
**Fuente:** WWW.Lente Circular Fisheye HSM

### 10.1.3 Sensor foveon

El nuevo sensor Foveon X3 fue creado para simular las capas de la emulsión química usadas en la película fotográfica tradicional de colores, los píxeles llegan a captar los colores a través de los fotodetectores que se encuentran incorporados en cada píxel, cada uno tiene una profundidad del color diferente y absorbe la luz dependiendo de su longitud de onda.

De esta forma cada píxel del sensor utilizará un fotodetector, para captar la luz azul, otro a diferente profundidad captará la luz verde y otro la luz roja permitiendo que la imágenes de extrema nitidez y rendimiento en el color. (Velasco L.S., 2010) (Figura 15).

**Figura 15:** Sensor foveon.



**Fuente:** Sensor foveon

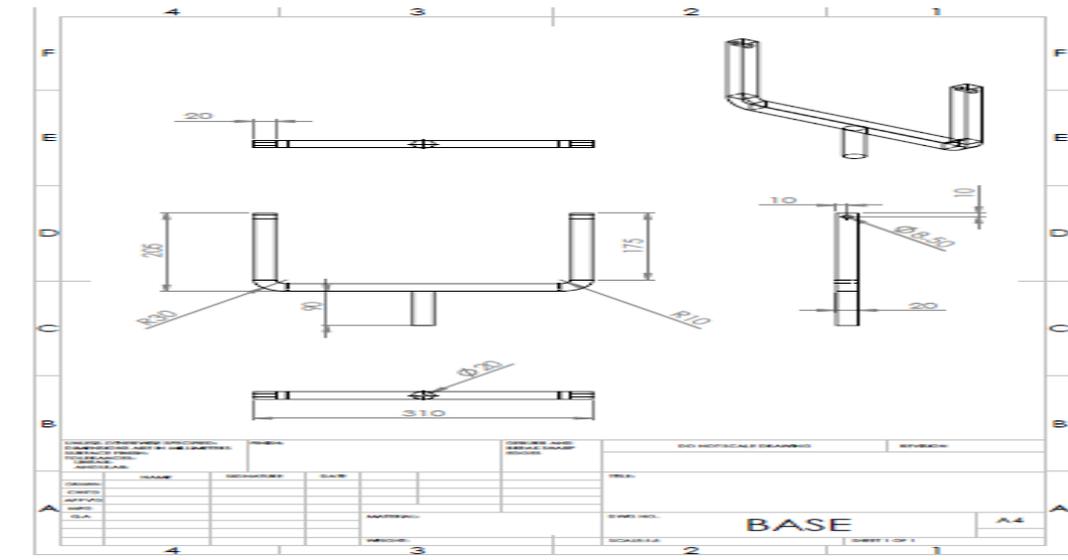
## 10.2 Diseño Trípode Nivelante.

El diseño del trípode nivelante para la cámara se realizó mediante el software SELF LEVELING , con la asistencia técnica de la Ingeniera Andrea Córdova docente de la Carrera de Mecatronica de la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador .

### 10.2.1 Base de Trípode.

La base del trípode fue diseñado con un tubo cuadrado de 3/4 de pulgada, con una longitud de 31 cm, dos parantes superiores de 20 cm y un parante inferior de 130 cm que permitirá fijar a la superficie para el acople de las piezas se realizara orificios de 0.85 cm con pernos de 3/8 de pulgada debidamente regulados (Figura 16 y Anexo 4).

**Figura 16: Base del Trípode.**

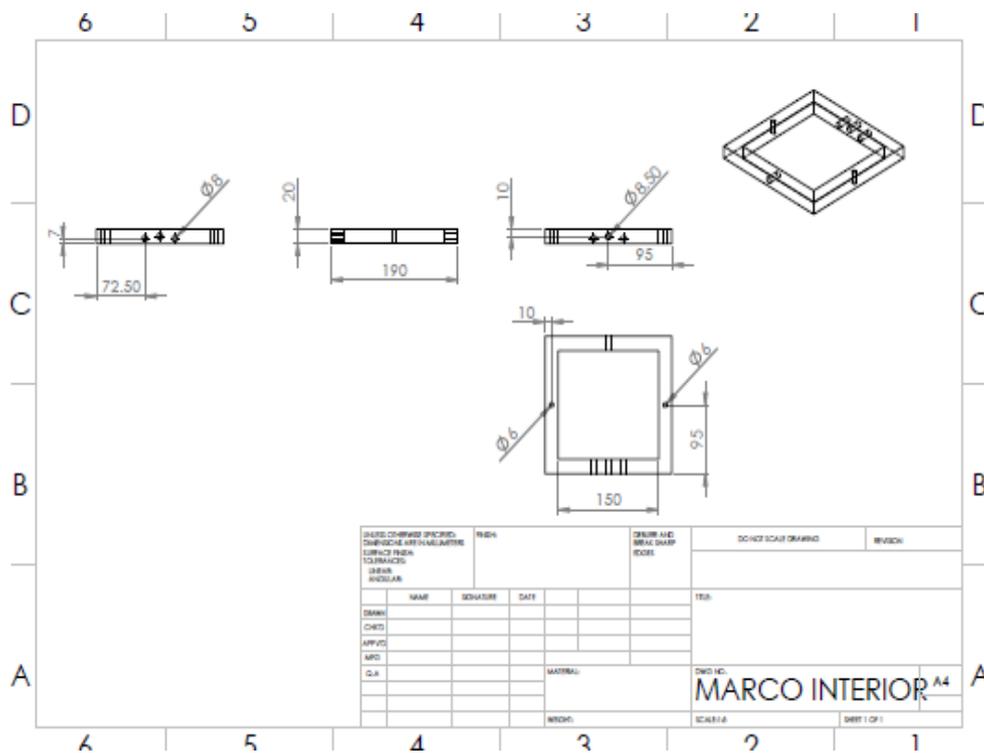


Elaborado por: El Autor.

**10.2.2 Marco Interior.**

Marco Interior se realizó con 4 tubos cuadrado de 3/4 de pulgada con una longitud de 15 cm cada uno, formando un cuadrado de 19 cm, con orificios de 0.85 cm y para la unión de las piezas pernos de 3/8 de pulgada (Figura 17 y Anexo 4).

**Figura 17: Marco Interior.**

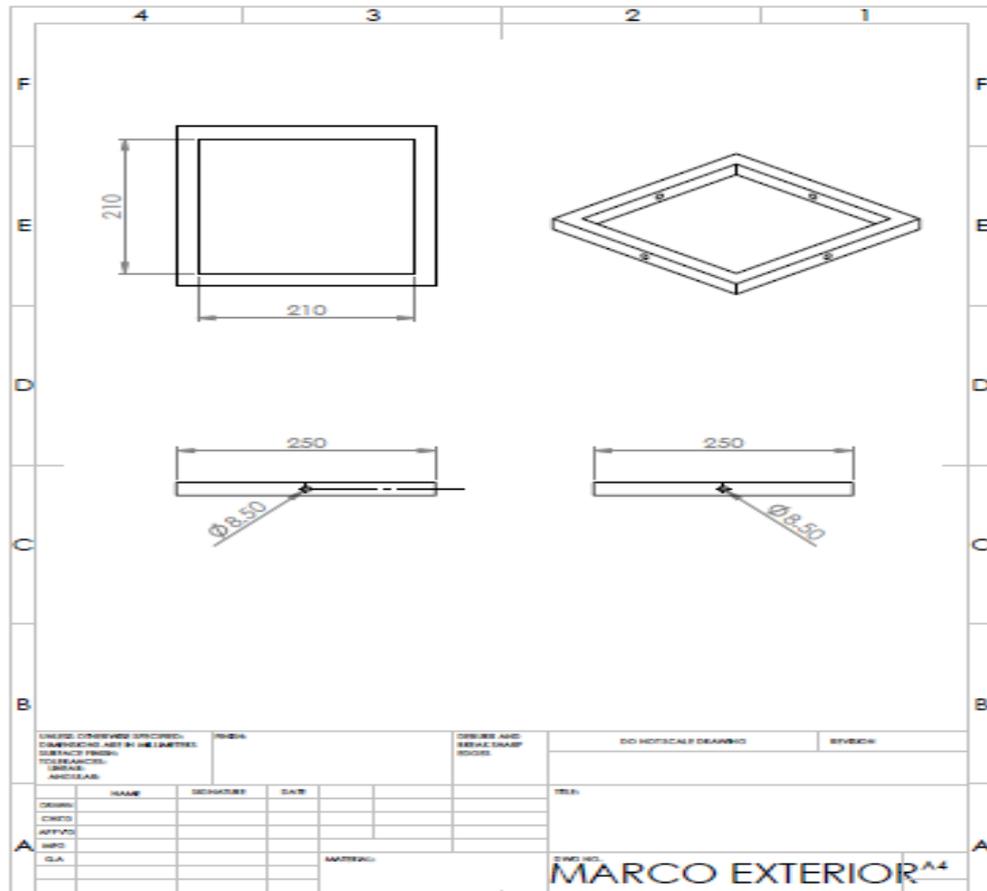


Elaborado por: El Autor.

### 10.2.3 Marco Exterior.

Marco Exterior se realizó con 4 tubos cuadrado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada con una longitud de 21 cm cada uno formando un cuadrado de 25 cm, con orificios de 0.85 cm, para la unión de las piezas pernos de  $\frac{3}{8}$  de pulgada (Figura 18 y Anexo 4).

**Figura 18:** Marco Exterior.

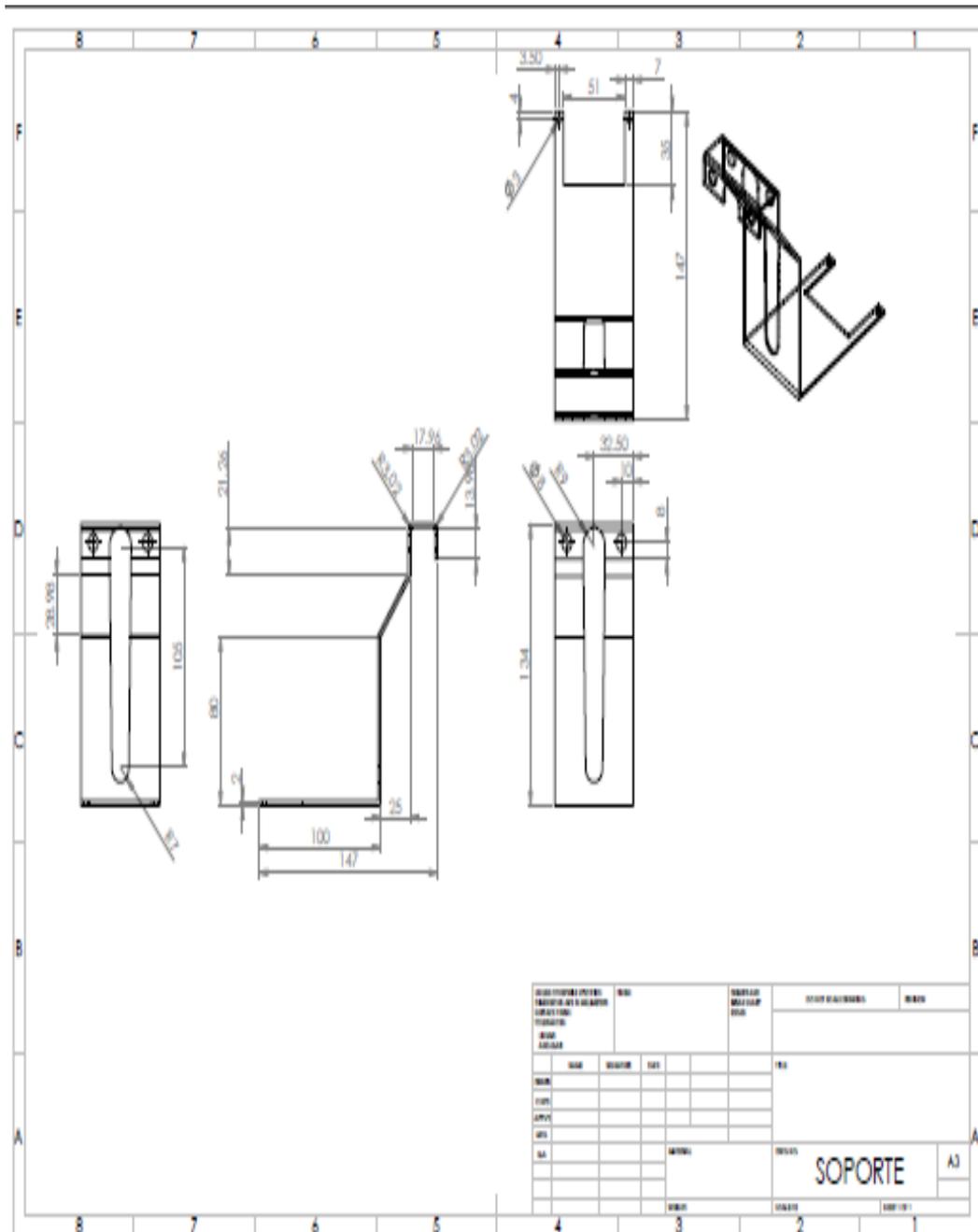


**Elaborado por:** El Autor.

### 10.2.4 Soporte.

Soporte se utilizó dos platinas la primera platina de 14.7 cm de largo y 6.5 cm de ancho con un espesor de 2 mm con una abertura de 5 cm de ancho y 3.5 cm de largo en la parte inferior, la segunda platina de 11 cm de largo y 6.5 cm de ancho con un espesor de 2 mm el centro un destaje que inicia con una abertura de un radio de 9mm t termina con un radio de 7mm la longitud de este destaje es de 9 cm el cual está ubicado en el centro de la platina tanto de forma horizontal como vertical para el acople de las piezas se realizó orificios de 3 mm con sus respectivos pernos (Figura 19 y Anexo 4).

**Figura 19:** Soporte Cámara.

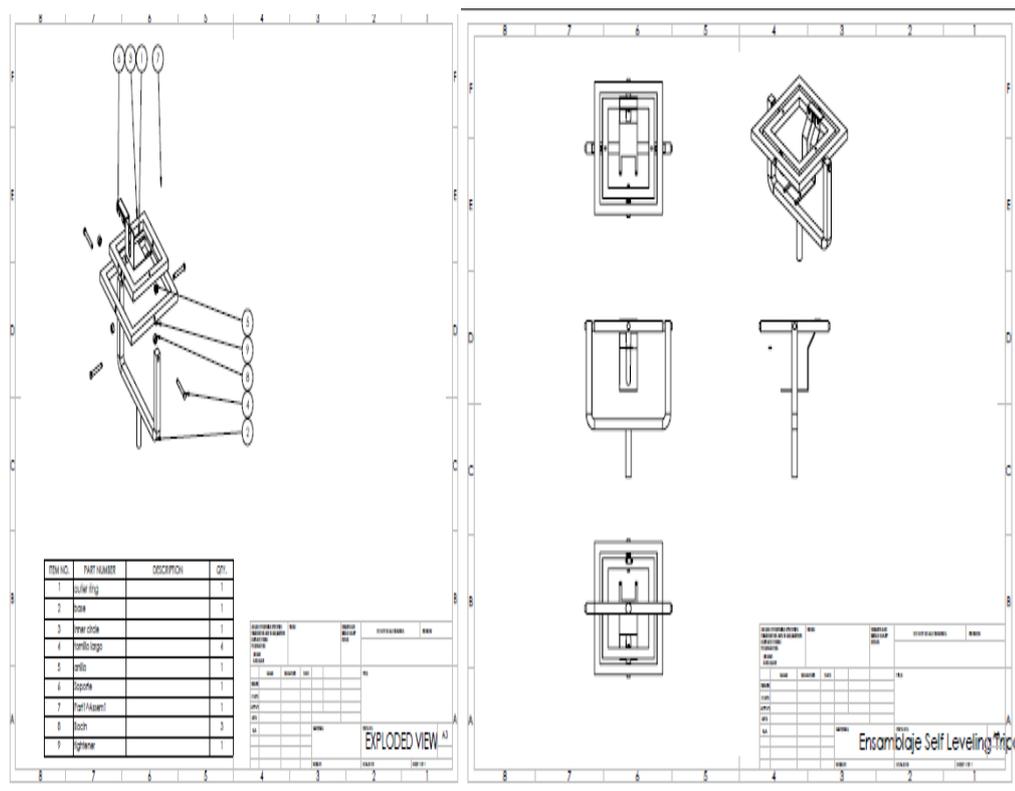


**Elaborado por:** El Autor.

### 10.2.5 Ensamblaje.

Ensamblaje se realizó luego del diseño de cada una de las piezas que conforman el trípode nivelante, claramente enumeradas y definidas de esta forma se realizó la simulación y el funcionamiento para que no exista margen de error en el diseño. (Figura 20 y Anexo 4).

**Figura 20:** Ensamblaje del Trípode.



**Elaborado por:** El Autor.

### 10.3 Construcción Del Trípode Nivelante.

La construcción del trípode nivelante fue realizado en el taller de mecánica industrial “Lezcano e Hijos “ a cargo del Ingeniero Manuel Lezcano el cual fue el encargado de realizar la construcción cada una de las piezas basándose en los planos de diseño con su respectivas medidas y dimensiones utilizando maquinaria con una alta tecnología para un fino acabado.

### 10.4. Prueba De Campo.

La prueba de campo de realizo en el bosque plantado de pino de la Universidad Técnica De Cotopaxi Campus (CEYPSA)

Se procedió a ubicar el trípode nivelante en el interior del bosque se incorporó los equipos, como la cámara SIGMA SD1 y el Lente Circular Fisheye la brújula permitió orientarnos en el terreno y poder ubicar el norte magnético el cual fue identificado con un foco led de color rojo que indica el norte y un foco led de color verde el sur, de esta

manera obteniendo la instrumentación óptica la cual permitió realizar la toma de imágenes hemisférica (Figura 21).

**Figura 21:** Prueba De Campo.



Elaborado por: El Autor

## **10.5. Aplicación de modelos matemáticos para calcular índice de área foliar (LAI) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR).**

### **10.5.1. Definición del índice de área foliar.**

La densidad de área foliar,  $l(h)$  al nivel  $h$  en el dosel se define como el área foliar por unidad de volumen de la cubierta. El índice de área foliar (LAI) corresponde a la integral de  $l(h)$  sobre la altura de la copa. Por lo tanto, se define como el área foliar unilateral por unidad de superficie horizontal del suelo (Watson, 1947). Aunque esta definición es clara para las hojas anchas planas, puede causar problemas para agujas y hojas no planas. Basado en consideraciones de transferencia radiativa, Lang (1991) y Chen y Black (1992) y Stenberg (2006) propusieron definir LAI como la mitad del área total desarrollada de hojas por unidad de superficie horizontal. Por lo tanto, esta definición es válida independientemente de la forma del elemento de vegetación.

Como se ha definido anteriormente, el índice de área foliar, LAI, definido como a un nivel H en el dosel, está relacionado con la densidad de área foliar a través de:

$$\text{Eq. 1} \quad LAI = \int_0^H l(h) dh$$

### 10.5.2. Modelo para el cálculo del índice de área foliar (LAI) a analizador de canopy de la planta (Gap) Fracción

Siguiendo a Warren-Wilson (1959), el número medio de contactos entre un haz de luz y un elemento de vegetación a un nivel de cubierta dado H en la dirección es:

$$\text{Eq. 2} \quad N(H, \theta_v, \varphi_v) = \int_0^H G(h, \theta_v, \varphi_v) l(h) / \cos \theta_v dh$$

Donde está la función de proyección, es decir, la proyección media de un área de follaje unitario en el nivel h en dirección. Cuando la densidad del área foliar y la función de proyección se consideran independientes del nivel h en el dosel, la ecuación 2 se simplifica en la ecuación 3

$$\text{Eq. 3} \quad N(L, \theta_v, \varphi_v) = G(\theta_v, \varphi_v) \cdot LAI / \cos \theta_v$$

La función de proyección se define de la siguiente manera:

$$\text{Eq. 4} \quad \begin{cases} G(\theta_v, \varphi_v) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} |\cos \psi| g(\theta_l, \varphi_l) \sin \theta_l d\theta_l d\varphi_l & \text{(a)} \\ \cos \psi = \cos \theta_v \cos \theta_l + \sin \theta_v \sin \theta_l \cos(\varphi_v - \varphi_l) & \text{(b)} \end{cases}$$

Donde es la función de densidad de probabilidad que describe la función de distribución de la orientación foliar. Esto induce las dos condiciones de normalización dadas.

$$\text{Eq. 5} \quad \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} g(\theta_l, \varphi_l) \sin \theta_l d\theta_l d\varphi_l = 1 & \text{(a)} \\ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} G(\theta_v, \varphi_v) \sin \theta_v d\theta_v d\varphi_v = \frac{1}{2} & \text{(b)} \end{cases}$$

La frecuencia de contacto es una cantidad muy atractiva para estimar indirectamente el LAI, ya que no se requieren suposiciones sobre la distribución, forma y tamaño espacial

de las hojas. Desafortunadamente, la frecuencia de contacto es muy difícil de medir de manera representativa dentro de los toldos. Esta es la razón por la que generalmente se prefiere la fracción de separación. En el caso de una distribución espacial aleatoria de hojas infinitamente pequeñas, la fracción de separación en dirección está relacionada con la frecuencia de contacto por:

$$\text{Eq. 2} \quad P_0(\theta_v, \varphi_v) = e^{-N(\theta_v, \varphi_v)} = e^{-G(\theta_v, \varphi_v) \cdot LAI / \cos(\theta_v)}$$

Esto se conoce como el modelo de Poisson. A la inversa, a la frecuencia de contacto que está linealmente relacionada con LAI, la fracción de hueco está altamente no linealmente relacionada con LAI. Nilson (1971) demostró tanto a partir de evidencias teóricas como empíricas que la fracción de hueco puede ser expresada generalmente como una función exponencial del índice de área foliar incluso cuando no se satisfacen las suposiciones aleatorias del medio turbio asociadas al modelo de Poisson. En caso de copas agrupadas, se puede escribir una expresión modificada del modelo de Poisson:

$$\text{Eq. 3} \quad P_0(\theta_v, \varphi_v) = e^{-\lambda_0 \cdot G(\theta_v, \varphi_v) \cdot LAI / \cos(\theta_v)}$$

### 10.5.3. Estimación del índice de área foliar y la inclinación de la hoja a partir de las mediciones de la fracción de hueco.

#### Uso de una sola dirección: LAI57.

Teniendo en cuenta el método del cuadrado de puntos inclinados, Warren-Wilson (1960) ha propuesto una formulación de la variación de la frecuencia de contacto en función de los ángulos de inclinación del cenit y del follaje de la vista. Usando esta formulación, Warren-Wilson (1963) demostró que para un ángulo de visión de 57,5 °, la función G (Eq 4) puede considerarse casi independiente en la inclinación foliar (G = 0,5). Utilizando la frecuencia de contacto en este ángulo particular de 57,5 °, Warren-Wilson (1963) derivó el índice del área foliar independientemente de la función de distribución de la inclinación foliar dentro de una precisión de aproximadamente 7%. Bonhomme et al., (1974) aplicaron esta técnica usando las mediciones de la fracción de hueco y encontraron un muy buen acuerdo entre los valores reales y estimados de LAI para los cultivos jóvenes.

Por lo tanto, para esta dirección de observación particular, LAI puede deducirse fácilmente de la fracción de hueco:

$$\text{Eq 8} \quad P_0(57.5^\circ) = \exp(-0.5LAI/\cos(57.5^\circ)) \Leftrightarrow LAI = \frac{-\ln(P_0(57.5^\circ))}{0.93}$$

## 10.6. Modelo para el cálculo de la fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR)

### Definición y modelo matemático para de la fracción de radiación fotosintéticamente activa.

Es la fracción de radiación fotosintéticamente absorbida por la vegetación. Varía con la posición del sol. Debido a las características de absorción fuerte de los pigmentos fotosintéticos (Baret A. , 1993), a menudo se supone que fAPAR es igual a fIPAR (fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada), y por lo tanto A la fracción de separación. La fAPAR real es la suma de dos términos, ponderada por la fracción difusa en el dominio PAR: el fAPAR 'cielo negro' que corresponde al componente directo (irradiación del haz solo en la dirección solar) y el 'cielo blanco' Componente difuso. La aproximación más cercana al cielo blanco fAPAR ocurre bajo una nubosidad profunda que puede generar una difusión casi isotrópica hacia abajo. Siguiendo a (Martonchik, 2005). los adjetivos blanco y negro no están relacionados con el color del cielo, sino más bien con la distribución angular de la intensidad de la luz.

Para calcular el Índice de transmisión de luz (Baret A. , 1993) se refiere a la cantidad de fracción de radiación fotosintéticamente activa incidente transmitido a través del claro de un punto determinado en el sotobosque en un determinado tiempo , se puede y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Eq 1} \quad \text{FAPAR} = (P_{\text{diffuse}} T_{\text{diffuse}}) (P_{\text{beam}} T_{\text{beam}})$$

Dónde:  $P_{diffuse}$  y  $P_{beam}$  = Son las proporciones de radiación incidente recibida en la parte superior de la cubierta, ya sea como radiación difusa o radiación directa del haz, respectivamente ( $P_{diffuse} = 1 - P_{beam}$ ).  $T_{diffuse}$  y  $T_{beam}$  = Son las proporciones de radiación difusa de haz y que están transmitido a través del claro a un punto en el sotobosque.

**Tabla 5:** Resumen de variables estimadas.

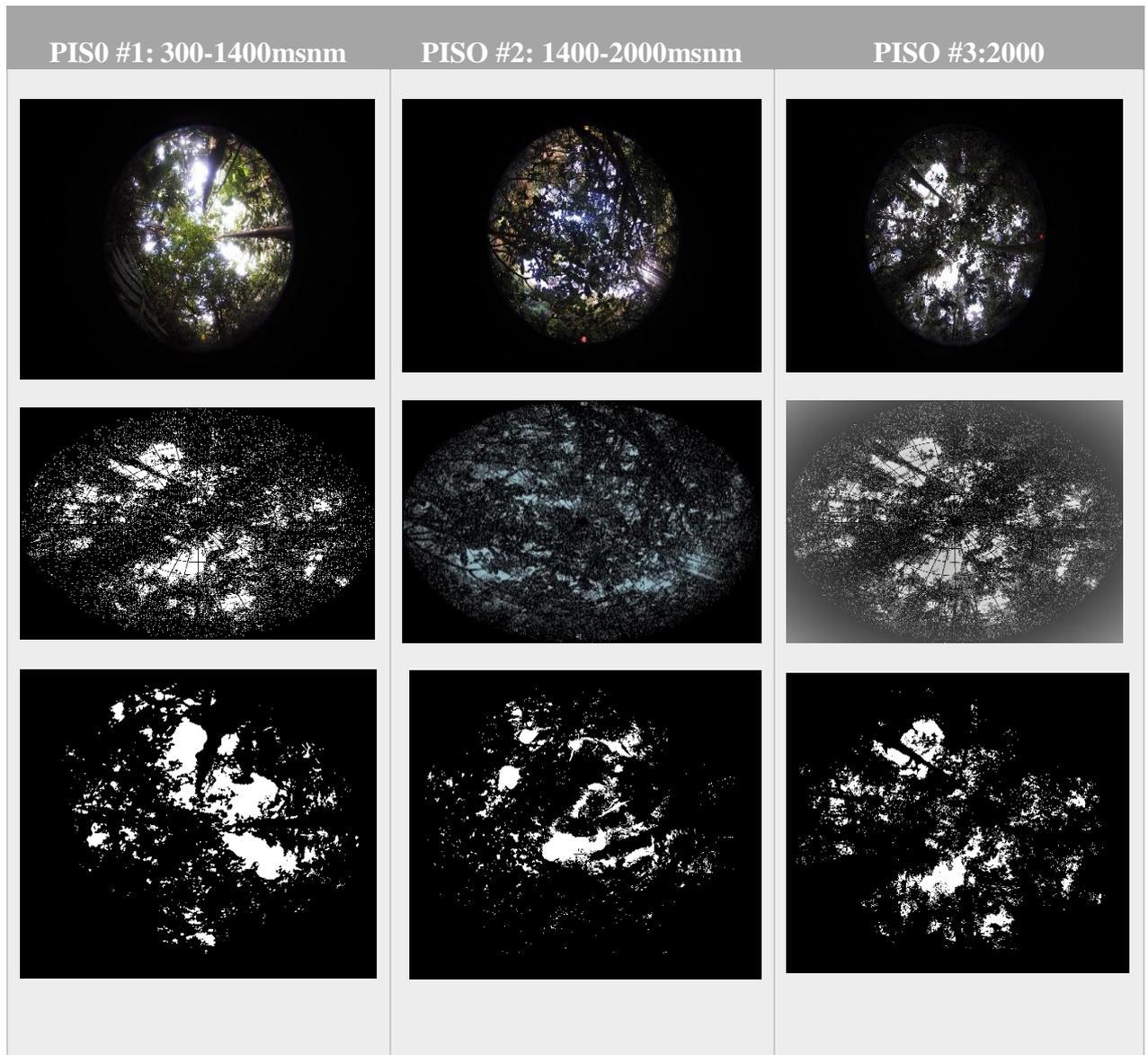
VARIABLES	SÍMBOLOS
Índice efectivo de área foliar estimado a partir de $P_o$ ( $57^\circ$ )	LAI <sub>57</sub>
Índice de área foliar efectivo	LAI <sub>eff</sub>
Ángulo promedio efectivo de inclinación de la hoja	ALA <sub>eff</sub>
Índice de área foliar verdadera Ángulo de inclinación de la hoja promedio	LAI <sub>true</sub>
Factor de agrupamiento	ALA <sub>true</sub>
Fracción de cubierta	CF
Cielo negro instantáneo fAPAR	fCover
Cielo blanco fAPAR	FAPAR <sub>BS</sub>

Elaborado por: El Autor.

### 10.7. Determinación de las variables climatológicamente esenciales en base a la geometría de la canopía.

El análisis de las variables climatológicamente esenciales en base a la geometría de la canopía se realizó mediante fotografías hemisféricas, que fueron analizadas en forma simultánea por pisos altitudinales y puntos de muestreo. El procesamiento de las fotografías, se realizó en el software Gap Light Analyzer (GLA, versión 2.0) el cual permite en primer plano identificar las partes clara y partes oscuras como lo demuestra la ((Figura 22).

**Figura 22:** Imágenes hemisféricas por pisos altitudinales.



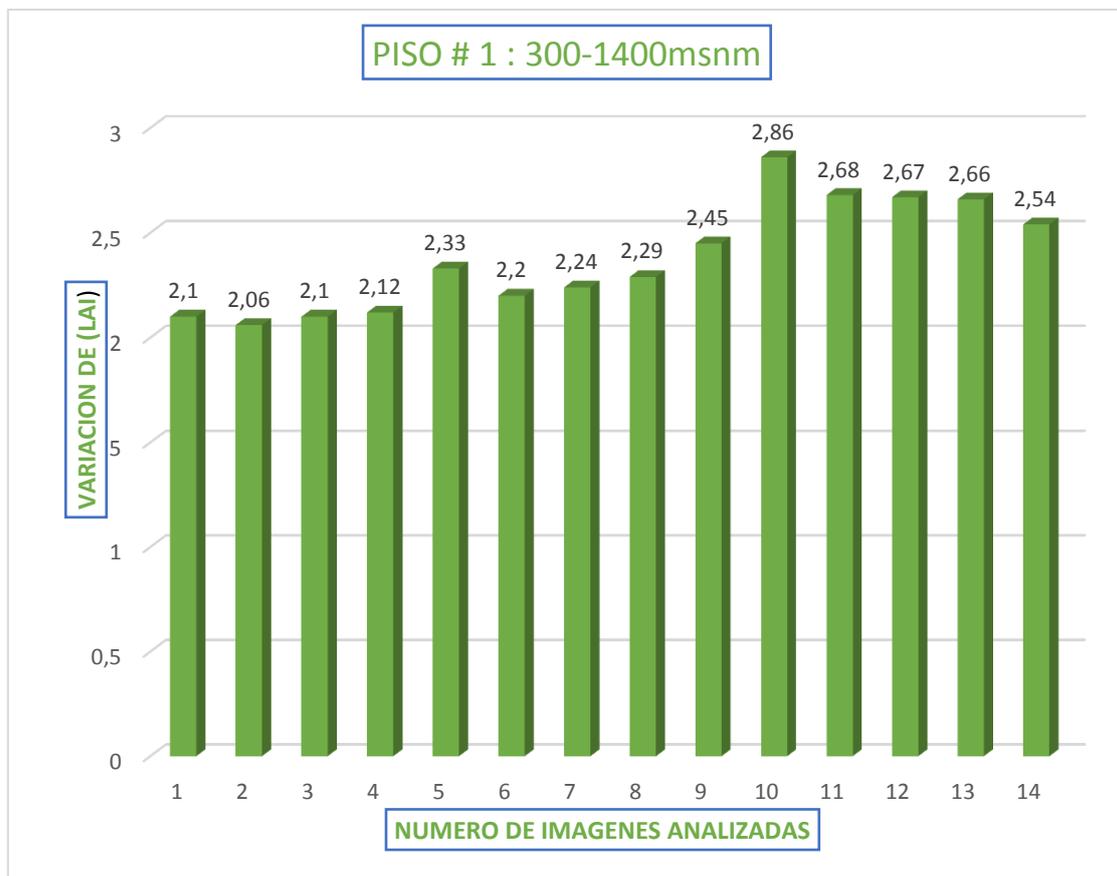
**Elaborado por:** El Autor

Las imágenes hemisféricas demuestran mediante los píxeles: blancos o claros la radiación solar y el cielo. Los píxeles oscuros o verdes demuestran la vegetación o cubierta vegetal. Se determina de manera cualitativa que en el segundo piso altitudinal existe menor espacio de claros y mayor proporción de partes oscuras demostrando, mayor aprovechamiento de fotones de energía.

### 10.7.1. Determinación del Índice de área efectiva foliar (LAI).

Los resultados obtenidos, en cuanto al índice del área efectiva foliar (LAI) en el primer piso altitudinal son muy variables. Se presentan valores altos como 2,68 y 2,67 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) y valores bajos como 2,10 y 2,12 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) (Figura 23).

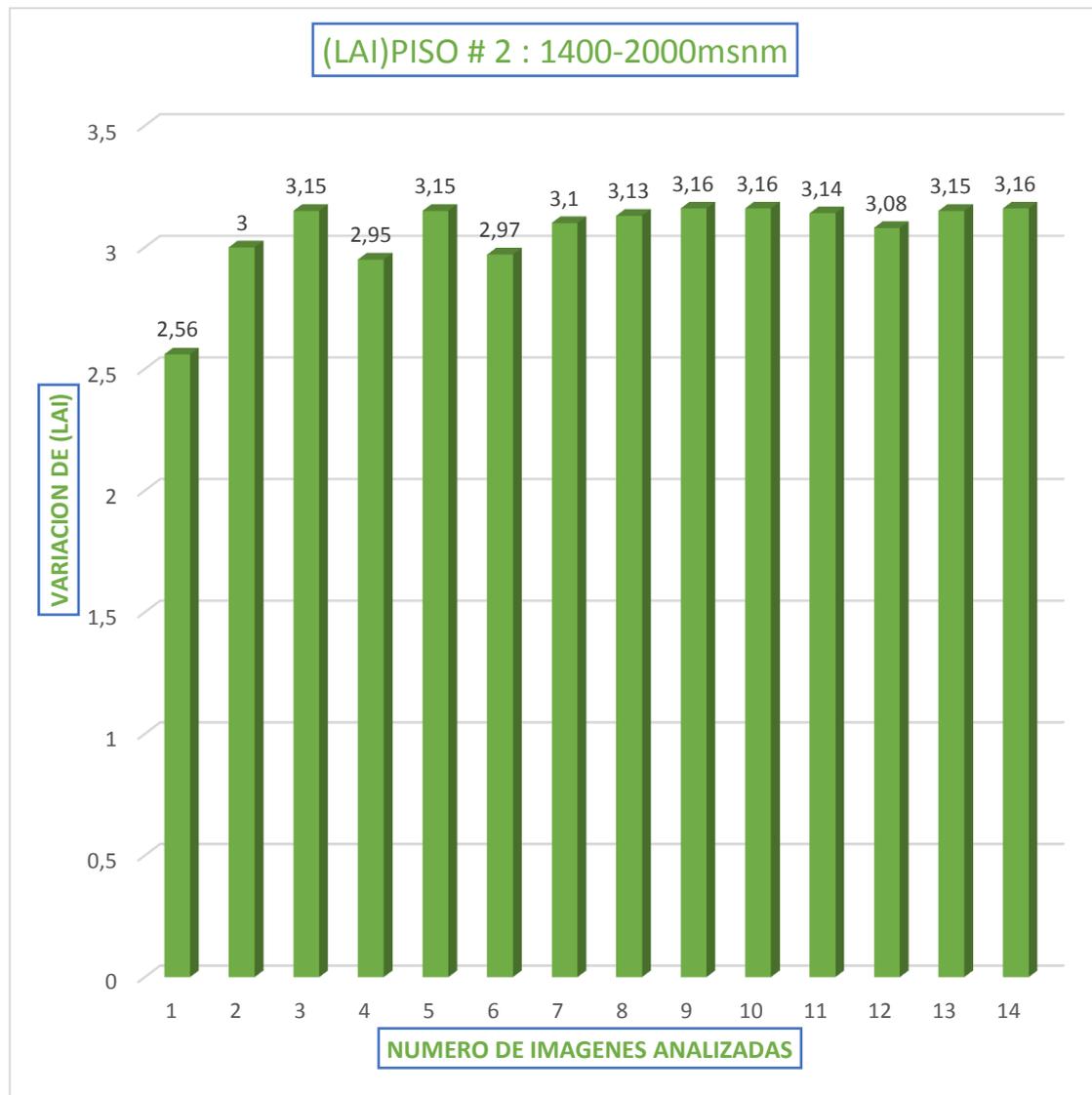
**Figura 23:** Determinación de (LAI).



Elaborado por: El Autor.

En el diagrama permite identificar el índice de área foliar y la dinámica que existe en cada punto de muestreo del primer piso altitudinal obteniendo un valor máximo de 2,86 metros cuadrados de follaje por metro cuadrado de superficie y un valor mínimo de 2,10 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ).

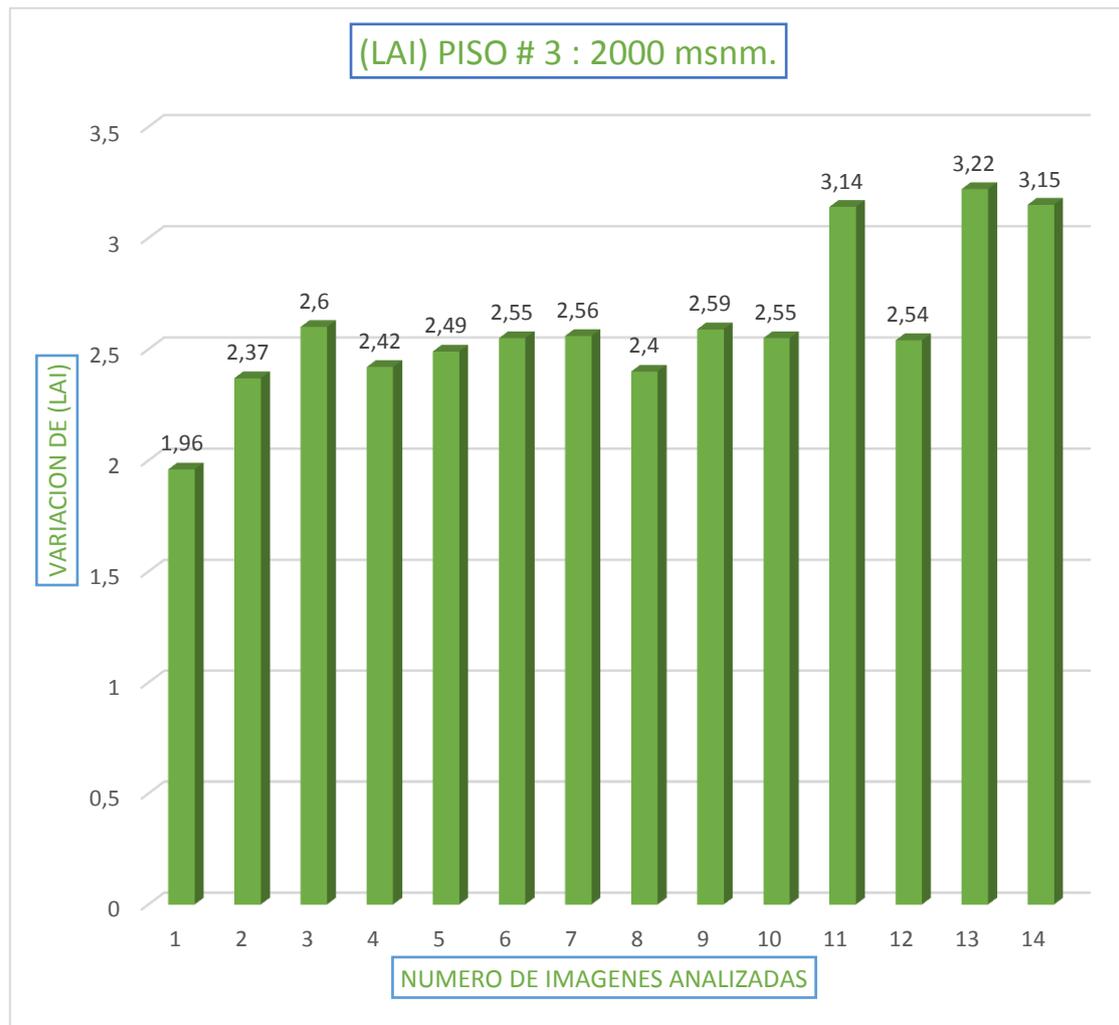
Los resultados que se obtuvieron, en cuanto al índice del área efectiva foliar (LAI) en el segundo piso altitudinal son muy variables se presentan tres valores altos de 3.16 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) y valores bajos como 2,56 y 2,95 ( $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) (Figura 24).

**Figura 24:** Determinación de (LAI).

**Elaborado por:** El Autor

En el diagrama permite identificar el índice de área foliar y la dinámica que existe en cada punto de muestreo del segundo piso altitudinal obteniendo valores máximos de 3,16 metros cuadrados de vegetación por metro cuadrados de superficie y un valor mínimo de 2,56 ( $m^2m^2$ ).

Los resultados que se obtuvieron, en cuanto al índice del área efectiva foliar (LAI) en el tercer piso altitudinal son muy variables se presentan valores altos como 3,22 y 3,15 ( $m^2m^2$ ) y valores bajos como 1,96 y 2,40 ( $m^2m^2$ ) (Figura 25).

**Figura 25:** Determinación de (LAI).

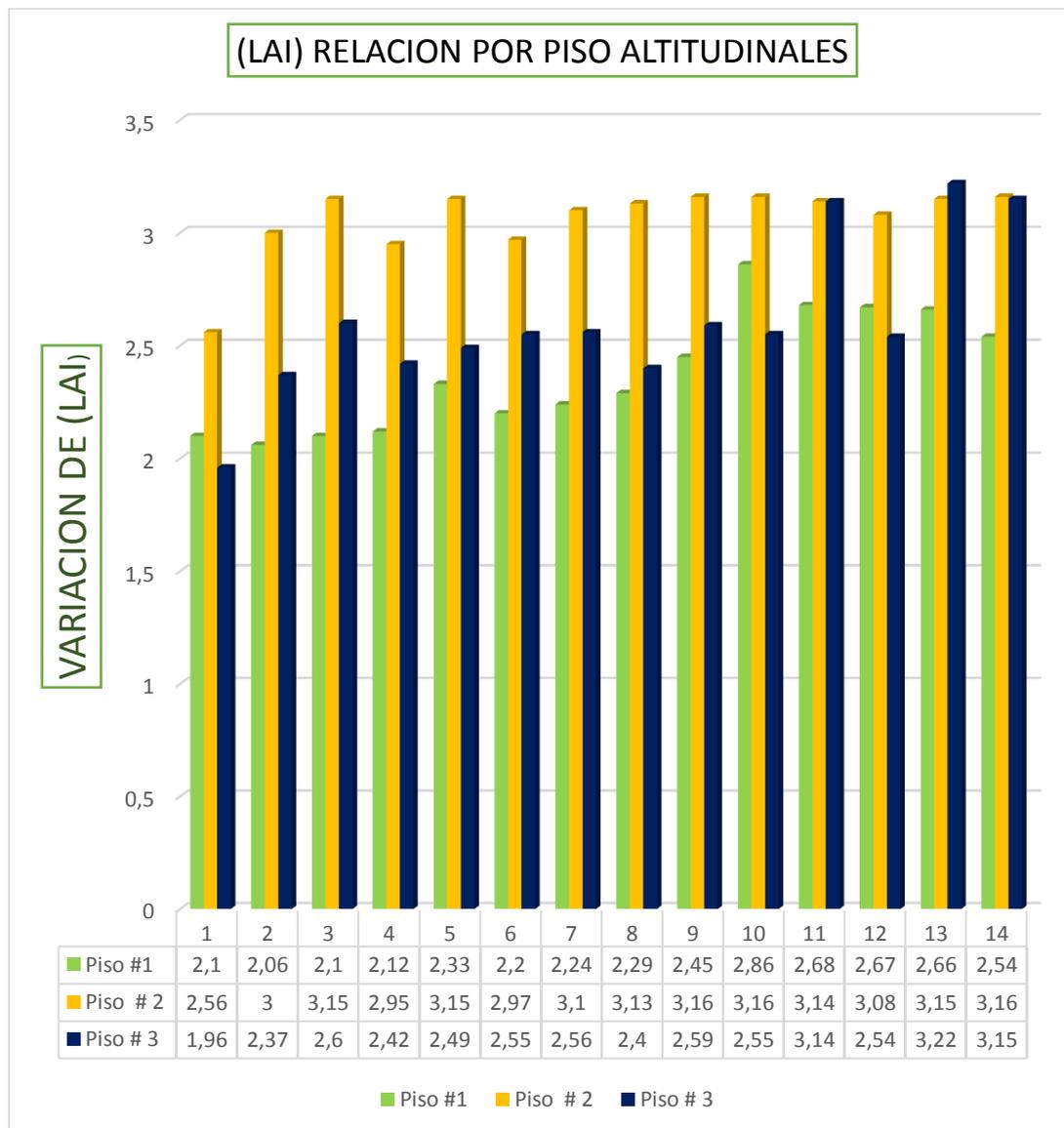
Elaborado por: El Autor.

En el diagrama permite identificar el índice de área foliar y la dinámica que existe en cada punto de muestreo del tercer piso altitudinal obteniendo valores máximos de 3,16 metros cuadrados de vegetación por dos metro cuadrado de superficie y un valor mínimo de 2,56 ( $m^2m^2$ ).

### 10.7.2 Análisis de la relación del índice de área foliar por pisos altitudinales.

Los resultados que se obtuvieron, en cuanto al índice del área efectiva foliar (LAI) en los tres pisos altitudinales y puntos de muestreo de acuerdo al lugar de estudio, se puede evidenciar que existe diferencia de resultados con relación a cada uno de los pisos altitudinales. (Figura 26).

**Figura 26:** Determinación de (LAI) de tres pisos altitudinales.



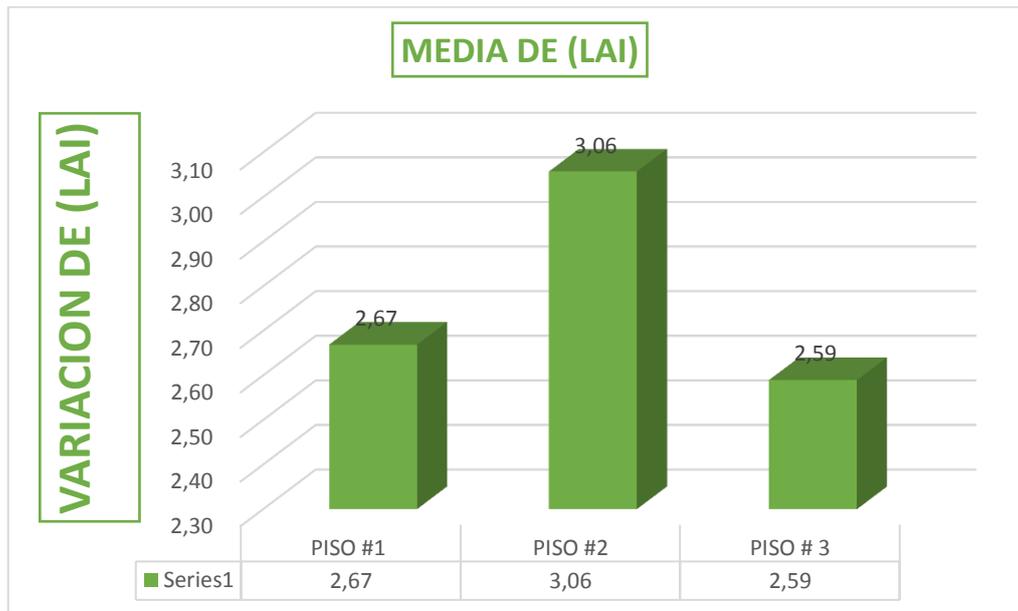
**Elaborado por:** El Autor.

Mediante el diagrama se puede analizar los resultados obtenidos, se determinó que existe variación en los puntos de muestreo de cada piso altitudinal.

### 10.7.3. Análisis del índice de área foliar por piso altitudinal.

Los resultados obtenidos con relación al índice del área foliar se calculó la media de cada uno de los pisos para obtener una estimación del piso con mayor vegetación del lugar de estudio (Figura 27).

**Figura 27:** Media de (LAI) de tres pisos altitudinales.



**Elaborado por:** El Autor.

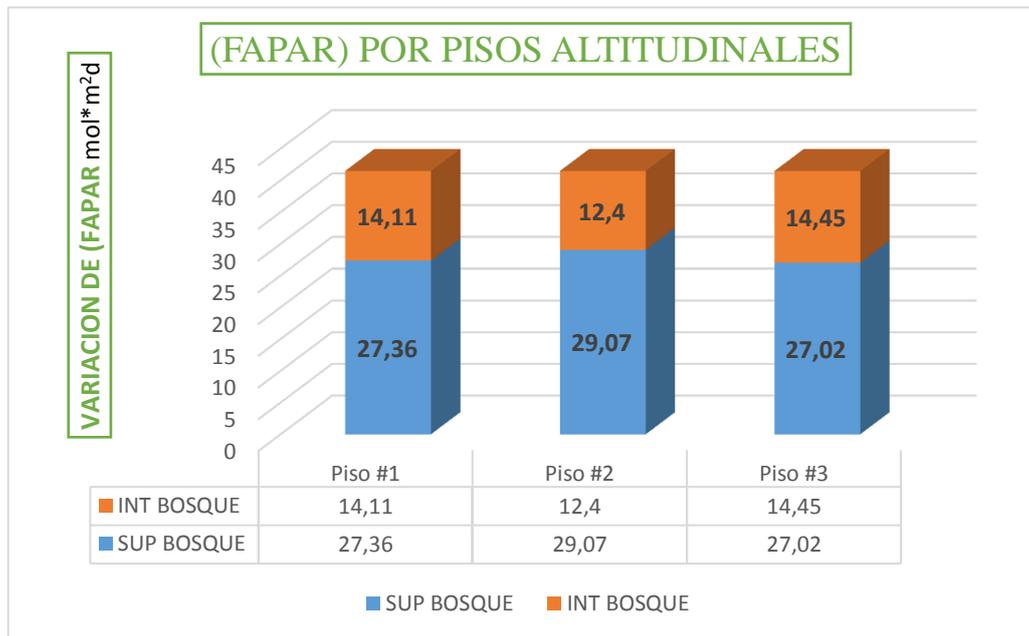
En el diagrama se puede evidenciar que el segundo piso altitudinal tiene un mayor índice de área foliar con una media de 3,06 metros cuadrados de vegetación por metro cuadrado de superficie. El primer piso altitudinal con una media de 2,67 ( $m^2m^2$ ). El tercer piso altitudinal con una media de 2,59 ( $m^2m^2$ ). Los resultados permiten determinar que el índice de área foliar es muy relevante en los tres pisos de estudio teniendo en cuenta que se encuentran en los rangos de mayor productividad. Para lo cual se consideran desde 1,5 a 4,0 ( $m^2m^2$ ) (Waring M, 1982) para este tipo de bosque en estudio, mediante estos parámetros se puede considerar que el bosque absorbe un promedio de 32 kg de  $CO_2$  por metro cuadrado anual contribuyendo en gran escala al equilibrio de los ecosistemas y la disminución del calentamiento global, regulación de ciclo de carbono.

#### **10.7.4 Determinación de fracción de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR)**

Los resultados obtenidos, en cuanto a la fracción de radiación fotosintéticamente activa son muy claros en cada uno de los pisos altitudinales. Existe una variación significativa dando a conocer que el segundo piso altitudinal absorbe mediante (LAI) un 29,07 molles de fracción de radiación fotosintéticamente activa por día siendo el de mayor relevancia permitiendo pasar al interior del bosque un 12,4 mol metro cuadrado. El tercer piso absorbe un 27,36 mol metro cuadrado, día permitiendo pasar para al

interior del bosque 14,11 mol metro cuadrado día. El tercer piso absorbe un 27,02 y permite pasar 14,45 mol metro cuadrado día los cuales se encuentran en los parámetros establecidos de radiación que van desde los 15 a 20 mol metro día necesarios para el desarrollo de la planta (Monteith L, 1996) (Figura 28).

**Figura 28:** Determinación de (FAPAR) por pisos altitudinales.



**Elaborado por:** El Autor.

El diagrama permite identificar los valores medidos en mol metro cuadrado por día dando a conocer, la cantidad de fracción de radiación fotosintéticamente activa que es absorbida por el índice de área foliar, como la cantidad que ingresa al interior del bosque. Los datos obtenidos demuestran que los tres pisos altitudinales, tomando en cuenta la variación de valores entre ellos, tiene un gran aprovechamiento de la radiación, encontrándose en valores que determinan una gran productividad del bosque en estudio, el cual garantiza un equilibrio ambiental.

La relación que existe entre el índice de área foliar y la fracción de radiación fotosintéticamente activa juega un papel muy importante en la dinámica productiva de un bosque, con los resultados obtenidos se puede evidenciar que mientras exista mayor cobertura vegetal en el dosel de un árbol, existirá mayor absorción de radiación tomando en cuenta que, mientras mayor vegetación mayor actividad fotosintética, y mayor captación del dióxido de carbono. El ecosistema en estudio desempeña un papel muy importante en el cambio climático.

## **11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):**

### **11.1. Técnicos.**

- ✚ El desarrollo de instrumentación analógica para la toma de fotografías hemisférica, permite realizar estudios que por las condiciones del lugar no se los puede realizar.
- ✚ Reduce la dependencia tecnológica, al incluir diseños locales, materiales de bajo costo y al alcance para realizar las investigaciones.

### **11.2. Sociales.**

- ✚ Promover las formas de utilización del bosque que mejoren la vida de las personas sin comprometer las funciones ambientales del mismo. La meta es brindar, de un modo sistemático, temas sociales y ambientales relacionados con la utilización del bosque y promover las mejores prácticas para maximizar los efectos positivos, así como también las medidas de mitigación por los efectos negativos identificados. El aumento de la sensibilización entre la variedad de partes interesadas - incluyendo los sectores público y privado (incorporando la industria) y las organizaciones civiles - es un aspecto fundamental de este trabajo
- ✚ Con este tipo de proyectos se pretende promover la conciencia para la toma de decisiones en cuidado de bosques.

### **11.3. Ambientales.**

- ✚ En lo ambiental juega un papel muy importante tanto como un bien o servicio ecosistémico como purificación del aire (disminución de CO<sub>2</sub> y aumento de oxígeno), ofrece sombra, son barreras que impiden la erosión del suelo y funcionan como barreras para vientos y demás fenómenos atmosféricos, actualmente para evitar la deforestación en muchos países incluido Ecuador. Las dependencias gubernamentales encargadas de aspectos de recursos naturales ofrecen el "pago por servicios ambientales" bajo esta modalidad de aquellos que posean cantidades considerables de bosques se les paga cierta cantidad de dinero con el compromiso de que se mantengan intacto la cubierta forestal de sus tierras.

## 12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

RECURSO	CANTIDAD	V.UNITARIO \$	V.TOTAL\$
<b>EQUIPOS</b>	<sup>a</sup>	\$	\$
Cámara (alquiler )	1	100.00	100.00
GPS (Alquiler)	4	20.00	80.00
Trípode	1	200.00	200.00
Lente ojo de pez	1	80.00	80.00
<b>Materiales y suministros</b>	<sup>a</sup>	\$	\$
Flash Memory	1	10.00	10.00
Pilas para GPS: Pilas Energizer 2AA	1 par	1.70	3.40
Carpa	1	100.00	100.00
Materiales de oficina	1	15.00	15.00
<b>MATERIALES Y SUMINISTROS</b>		\$	\$
Machete	1	10.00	10.00
Cinta de marcaje	2	4.50	9.00
Marcador indeleble	2	1.50	3.00
Flexometro	1	4.00	4.00
<b>GASTOS SALIDA DE CAMPO</b>			
<b>Primera salida</b>			
Botas	1par	20	20.00
Guantes	4 pares	2.00	8.00
Repelente	1	5.00	5.00
Transporte	8	3.00	24.00
Alquiler camioneta	8	25.00	200.00
Alimentación	36	3.00	108.00
Guía	8	30.00	240.00
<b>Total</b>			1216.40

Elaborado por: El Autor (2017).

## 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 13.1. CONCLUSIONES

- ✚ La instrumentación analógica diseñada e implementada para la toma de imágenes hemisféricas para la investigación en estudio. Es muy exacta y precisa, fácil de implementar en el campo, de un costo moderado proyectándose hacer una alternativa en este tipo de estudios, permitiendo satisfacer las necesidades de la investigación en la determinación de índice de área foliar y la fracción de radiación fotosintéticamente activa en bosques húmedos con mucha nubosidad.
  
- ✚ Los modelos matemáticos aplicados en la investigación fueron de gran ayuda permitieron determinar las variable climatológicamente esenciales en base a la geometría de la canopia de un bosque húmedo.
  
- ✚ La determinación de las variables climatológicamente esénciales en el bosque húmedo permitió, definir que existe una alta productividad ecosistemática. El índice de área foliar es de 3,06 ( $m^2m^2$ ) de vegetación, la cual asimila un 29, 07 ( $mol*m^2d$ ) mol metro cuadrado día de energía solar, la radiación fotosintéticamente activa es absorbida por el área foliar en gran cantidad debido a la abundancia que existe en el lugar de estudio, Determinando que las variables cumplen un papel muy importante en el cambio climático mediante la asimilación de 32 kg de  $CO_2$  por metro cuadrado anual.

### 13.2. RECOMENDACIONES:

- Realizar la construcción de la instrumentación analógica, con mayor tecnología en acabados, utilizar materiales livianos como aluminio permitirá tener mayor comodidad al ingresar al campo, utilizar protectores para la cámara para poder utilizar en lugares húmedos los cuales no permitirán poner en riesgo los equipos.
- Aplicar modelos matemáticos con ecuaciones que permitan obtener resultados directos y no en base de otras variables, permitirá obtener los mismos resultados en menor tiempo y con menor complejidad en su ejecución ,
- Realizar la estimación de las variables con datos de ecosistemas similares, analizar las fotografías hemisféricas con software de versiones actuales, realizar la tomo de imágenes cuando el cielo se encuentre más homogéneo posible, tomar la mayor cantidad de fotografías para realizar la selección de las mejores imágenes.

## 14. BIBLIOGRAFIA

- Baret, A. (1993). *Fraccion de radiacion activa*. Santiago.
- Baret, F. (2014). *Can-Eye User Manual* (121 ed.). Boston, USA : Agric. For. Meteorol.
- Barnes B.V. (1998). *Ecología forestal* (4 ed.). New York, USA: publicaciones John Wiley.
- Binkley, C. S. (1990). Secuestro de carbono en los bosques naturales. *en Medio Ambiente*, 27, 23-45.
- Brisson, M. (2003). *Estimacion de la ardiacin solar en los bosques* (24 ed.). N/f: la fuente .
- Burrows, C. (1990). Procesos de cambio de vegetación. En Burrows, *Procesos de cambio de vegetación* (2 ed., págs. 551-562). Boston, Estados Unidos: Publicaciones Misa de Boston.
- Cerón, C. (2003). *Manual de Botánica Sistemática, Etnobotánica y Metodos de Estudio en el Ecuador*. Herbario "Alfredo Paredes. Quito , Pichincha , Ecuador : Biología de la Universidad Central del Ecuador.
- Chianucci, F. C. (2013). *Fotografía digital hemisférica para Estimación de las propiedades del dosel forestal: controversias y oportunidades actuales*. (103 ed.). Santiago, Chile: Meteorología agrícola y forestal.
- CMNUCC. (Julio de 1997). *in FCCC*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://unfccc.int/>
- Cutini, A. (2013). 3. *Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties* (130 ed.). Current controversies and opportunities.
- Frazer et al. (1999). *procesamiento de imagenes emisfericas con GLA* (4 ed.). Santiago: livia.
- Gallegos, G. (2004). *FOTGRAFIA HEMISFERICA* (7 ed.). LIMA: LA ESPAÑOLA.
- GeigerR. (2003). El clima cerca del suelo. En GeigerR, *El clima cerca del suelo* (6 ed., págs. 584-591). Lanham, Estados Unidos: Editores de Rowman y Littlefield.
- Hendrickson, O. Q. (1990). *Cómo influyelos bosqus en el carbono atmosférico* (66 ed., Vol. 4). Boston , USA: Crónica .
- Houghton, R. A. (2003). Ciclos biogeoquímicos globales. *La prensa* , 2, 42-45.
- Jennings et al. (1999). *luminosidad de un bosque* (17 ed.). London: publicacione el dia.

- Jiménez J., O. A. (2001). *Análisis de la estructura horizontal de un bosque* (2 ed., Vol. 10). España : Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Jonckheere. (2004). Revisión de los métodos de determinación in situ del índice de área foliar Parte I. En Jonckheere, *Revisión de los métodos de determinación in situ del índice de área foliar Parte I* (5 ed., págs. 19-35). Londres, España: El Refugio.
- Jonckheere I., S. F. (2004). *Revisión de los métodos de determinación in situ del índice de área foliar. Parte I Teorías, sensores y fotografía hemisférica* (121 ed.). N/F: Por. Meteorol.
- Jones, C. (2002). *Aceleración del calentamiento global debido a las reacciones de ciclo de carbono en un modelo de clima acoplado* (409 ed.). Nature .
- Martonchik. (2005). *Calculo hueco blanco*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017
- McLaren, K. P. (2003). *fotografía emisférica* (8 ed.). Bogota : Gestion excologica .
- Murty, D. (2002). La conversión de los bosques en tierras agrícolas el cambio de carbono. *Global Change Biology*, 8, 105 - 123.
- Promis, A. y. (2009). *Fotografías Hemisféricas: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque* (56 ed.). (W. Institut, Ed.) Santiago , Chile: Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile .
- Pukkala, T. P.-B. (1991). *Predicting spatial distribution of direct radiation below forest canopies*. (56 ed.). Boston : Agricultural and Forest Meteorology. Recuperado el 15 de Diciembre de 2016
- REVÉ, W.-W. (1999). *aplicacion de modelos* (4 ed.). Bogota : santa fe .
- Rich. (Enero de 1990). Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757259009532119?journalCode>
- Rich. (Enero de 1990). *Caracterizando las copas de las plantas con fotografías hemisféricas*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757259009532119?journalCode=grsr20&>
- Sierra, R. . (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Cotinental. Proyecto INEFAN / GEF-BIRF, y Ecociencia* (12 ed., Vol. 4). Quito , Pichincha , Ecuador : Editorial Indugraf.
- Velasco L.S., O. C. (2010). *Estimación del índice* (33 ed., Vol. 2). Toluca, Mexico : Monarca. Rdo.

- Weiss. (2014). Manual del usuario de Can-Eye. En *Manual del usuario de Can-Eye* (9 ed., págs. 17-53). Chicago, USA: Meteorol.
- Yang. (2006). índice de área foliar de la validación. En Yang, *índice de área foliar de la validación* (12 ed., págs. 1885 - 1889). Boston: Publicacion.
- Zhang, (2005) *Determinación de la frecuencia hemisférica digital, Exposición fotográfica para la estimación del índice de área foliar* (págs. 166 - 181.). Ney Nork, USA: Agricultura y Meteorología Forestal.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del idioma inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal **CERTIFICO** que, la traducción del resumen del Proyecto Investigativo al idioma inglés presentado por el señor egresado, **ZAPATA TELLO WILSON MARCELO** de la Carrera de Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, cuyo título versa “**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y FRACCIÓN DE RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN EL BOSQUE HÚMEDO LA ESPERANZA –LA MANA, MEDIANTE METODOLOGÍAS ÓPTICAS**” lo realizo bajo mi supervisión y cumple con la correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga 27 de julio del 2017.

Atentamente:

**Ing. Wilmer Patricio Collaguazo Vega.**  
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS  
C. C. 172241757-1



## Anexo 2.- Hojas de vida del tutor.

## HOJA DE VIDA

**DATOS PERSONALES:** CORDOVA YANCHAPANTA VICENTE DE LA DOLORES Cédula/Psc: 1501834822

FECHA Y LUGAR DE NACIMIENTO: 05/04/1960 EN 593\_ZONANODELIMITADA\_MDCU\_900351

SEXO: HOMBRE ESTADO CIVIL: CASADO/A DISCAPACIDAD: NINGUNA

DIRECCIÓN: 593\_PICHINCHA\_MEJÍA\_170350 23 DE JULIO 0202 Y LUIS CORDERO

Teléfono Convencional: 032875191 Celular: 0999731878 Operadora: ALEGRO



**DATOS ACADÉMICOS:**

TITULO	NOMBRE	AREA	SUBAREA	PAIS	SENE SCYT
Doctor PH.D	DOCTOR EN EDUCACIÓN	Ciencias Básicas	Medio Ambiente	EEUU	5435R-12-12303
Magister	MASTER OF SCIENCE	Ciencias Básicas	Medio Ambiente	EEUU	5435R-12-11953
Ingeniero (a)	INGENIERO AGRÓNOMO	Agrícola y Pecuaria	Ciencias Agrarias	Ecuador	1010-08-866090

**CURSOS Y CERTIFICADOS:**

TIPO	NOMBRE	INSTITUCION	HORA S	FECHA
Actualización Científica	CONFERENCIA REGIONAL ANDINA: CONFRONTANDO LOS IMPA	AGENCIA NACIONAL DEL AGUA, PERÚ	20	13/febrero/2015
Certificado	APLICACIÓN DE ITEMS MEDIANTE RECURSOS E-LEARNING Y	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	10	22/noviembre/2014
Actualización Científica	I JORNADAS CIENTÍFICAS "UTC 2014", CIENCIA, TECNOL	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	40	03/octubre/2014
Certificado	CUMBRE DEL BUEN CONOCER	MINISTERIO COORDINADOR DE CONOCIMIENTO Y TALENTO H	40	30/mayo/2014
Curso	CAPACITACIÓN SOBRE ELABORACIÓN DE PUBLICACIONES CI	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	40	28/febrero/2014
Actualización Científica	FITOMEJORAMIENTO Y SISTEMAS DE SEMILLAS	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	40	13/noviembre/2013
Formación Pedagógica Andragógica	JORNADAS JORNADAS ACADÉMICAS 2013 "GESTIÓN ACADÉMICA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	40	15/marzo/2013

**PUBLICACIONES DE LIBROS O REVISTAS:**

TIPO	TITULO	PAG	EDIC	AÑO	ISBN
------	--------	-----	------	-----	------

**EXPERIENCIA LABORAL:**

TIPO	INSTITUCION	CARGO	CATEDRA	INICIO	FIN	REFERENCIA	TLF-REF
------	-------------	-------	---------	--------	-----	------------	---------

**DATOS LABORALES DENTRO DE LA UTC:**

CAMPUS	RELACION-LAB	CARGO	FUNCION-ADM
SL	Contrato con Relacion de Dependencia	Docente	PROFESOR OCASIONAL - PHD - TIEMPO COMPLETO

## Anexo 3.- hojas de vida del Autor.

**CURRICULUM VITAE****1.- DATOS PERSONALES**

**NOMBRE** Wilson Marcelo Zapata Tello

**DOCUMENTO DE IDENTIDAD** C.C 0502575244

**FECHA DE NACIMIENTO** (20) de (Diciembre) de (1983)

**LUGAR DE NACIMIENTO** Latacunga

**ESTADO CIVIL** Soltero

**DIRECCIÓN** Lasso Calle Estrella Pamba

**TELÉFONO** 0982361031

**E-MAIL** [wmzapata7@hotmail.com](mailto:wmzapata7@hotmail.com)

**2.- ESTUDIOS REALIZADOS**

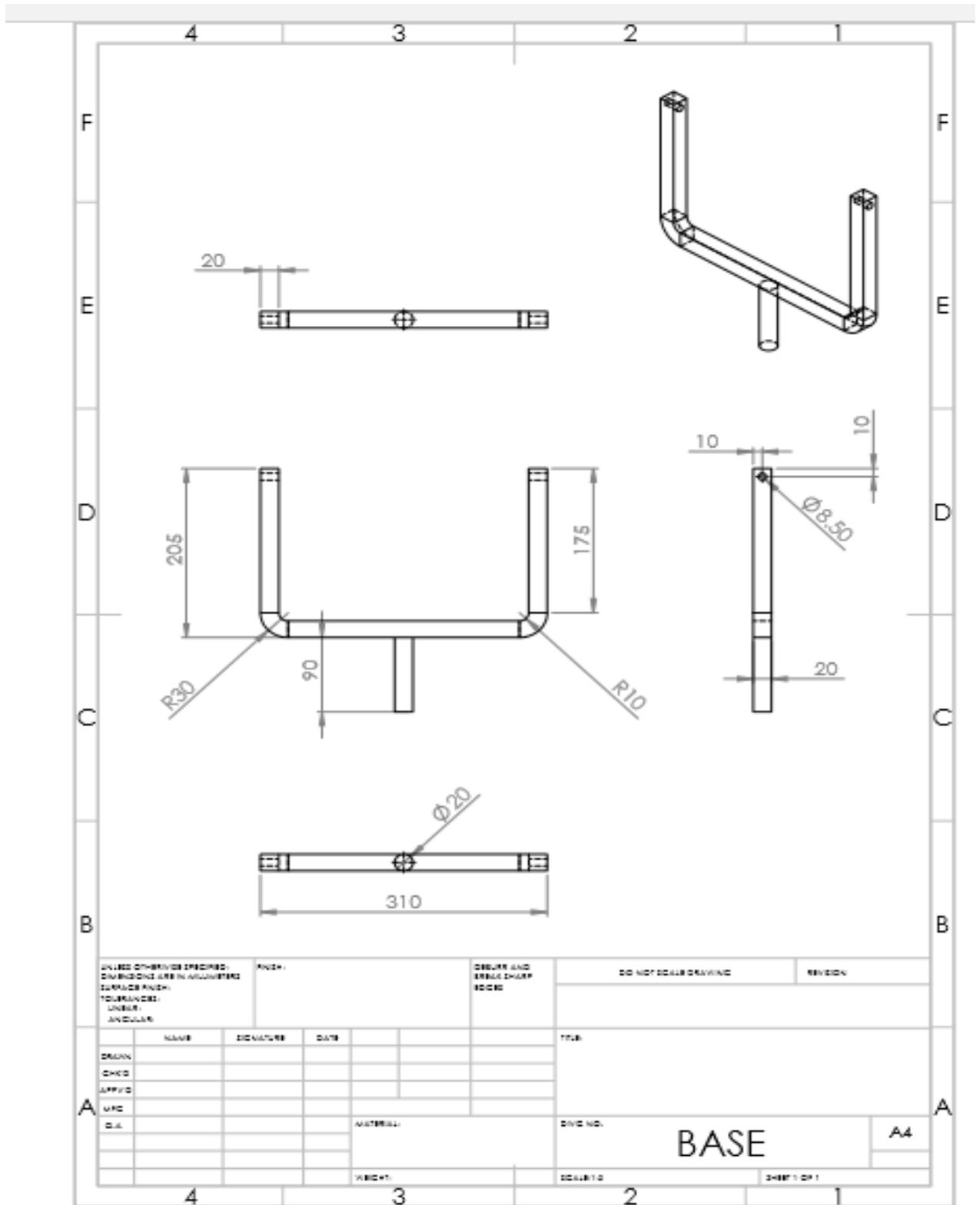
<b>NIVEL</b>	<b>TITULO OBTENIDO</b>	<b>UNIDAD EDUCATIVA</b>
<b>PRIMARIA</b>		Escuela Juan Manuel Lasso
<b>SECUNDARIA</b>	<b>ESPECIALIDAD QUIMICO BIOLOGO</b>	Colegio Vicente León
<b>SUPERIOR</b>		Universidad Técnica de Cotopaxi

**3.- SEMINARIOS ASISTIDOS**

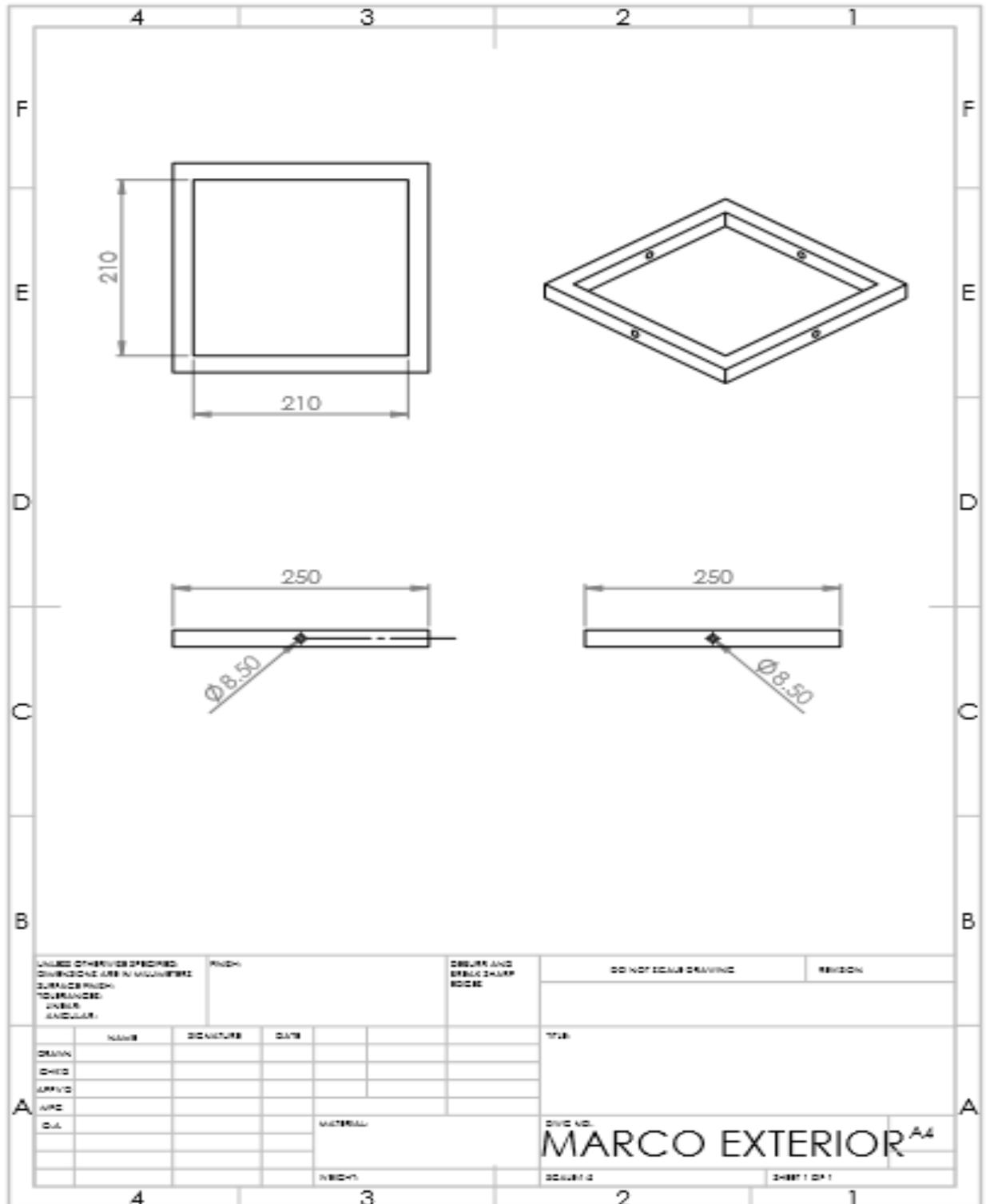
- ❖ 2014. Participación en las “Jornadas de Capacitación Dirigida a Instituciones Publicas Y Privadas”.
- ❖ 2015. Participación Del Evento “Evaluación de Impacto Ambiental”.

Anexo 4.- Diseño del trípode nivelante.

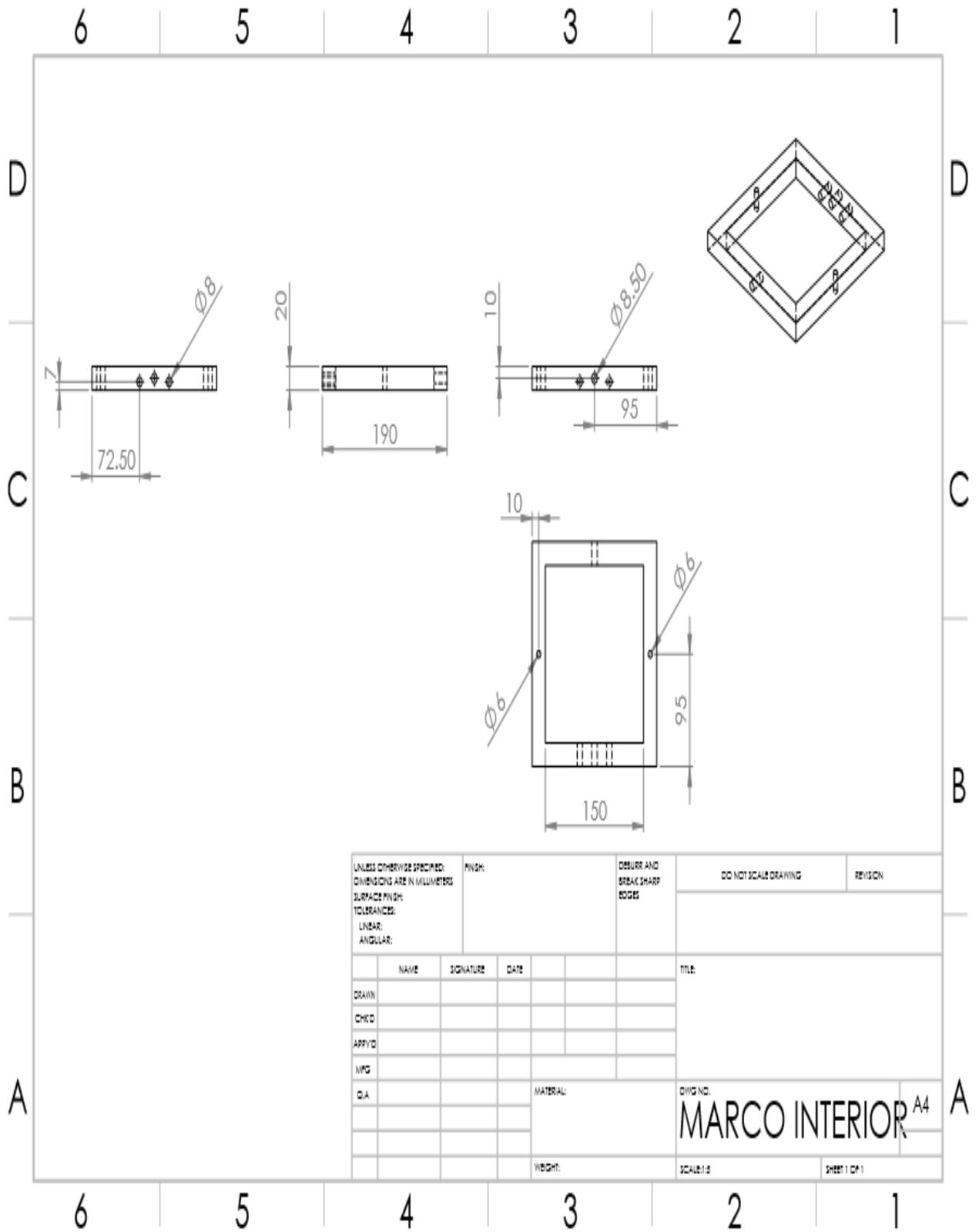
BASE



**MARCO EXTERIOR.**



**MARCO INTERIOR.**



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN									
CHECKED									
APPROVED									
INCH									
D.A.					MATERIAL:	DWG NO.		MARCO INTERIOR <sup>A4</sup>	
					WEIGHT:	SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1	



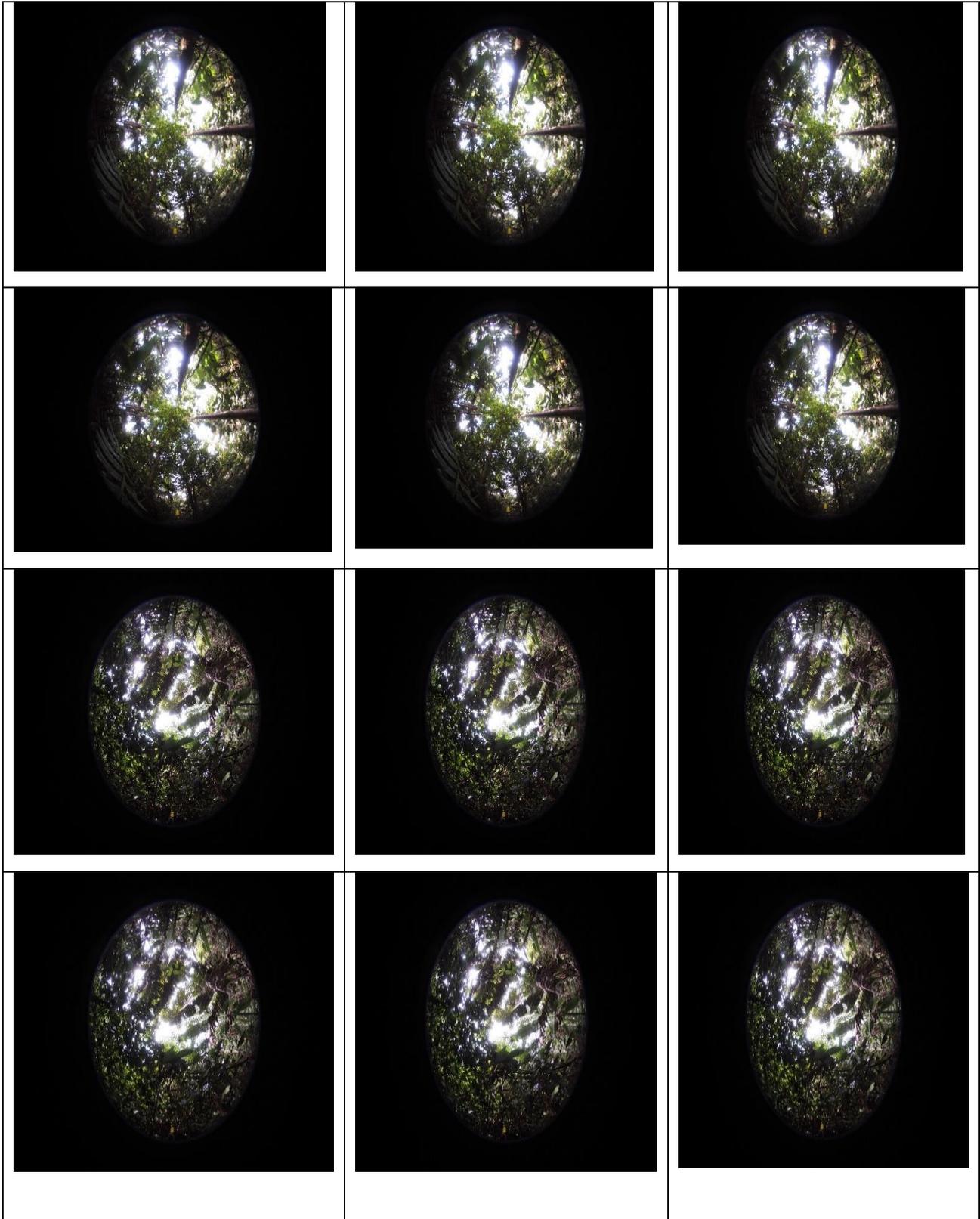




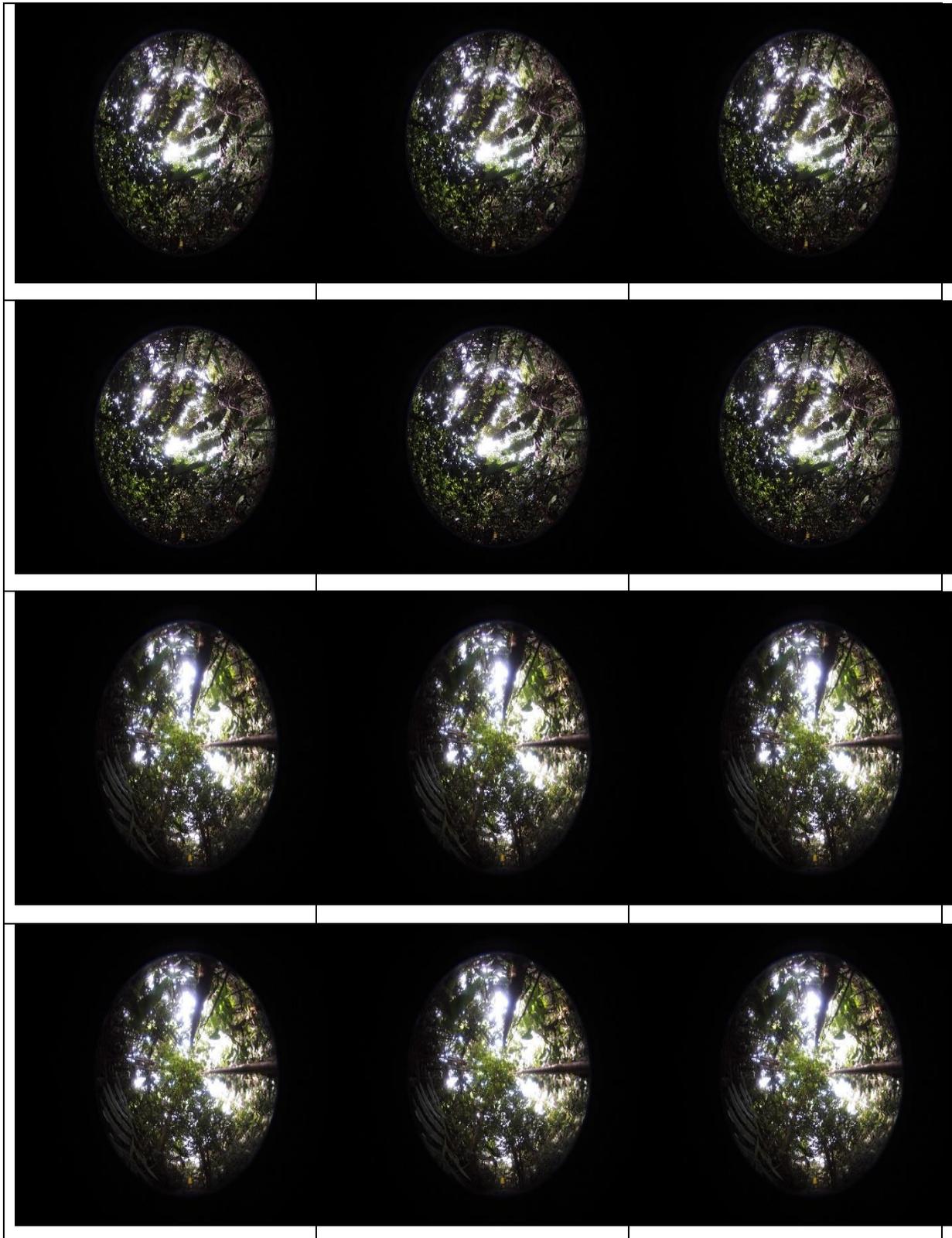
**Anexo 5.-** Protocolo de muestreo en el campo.



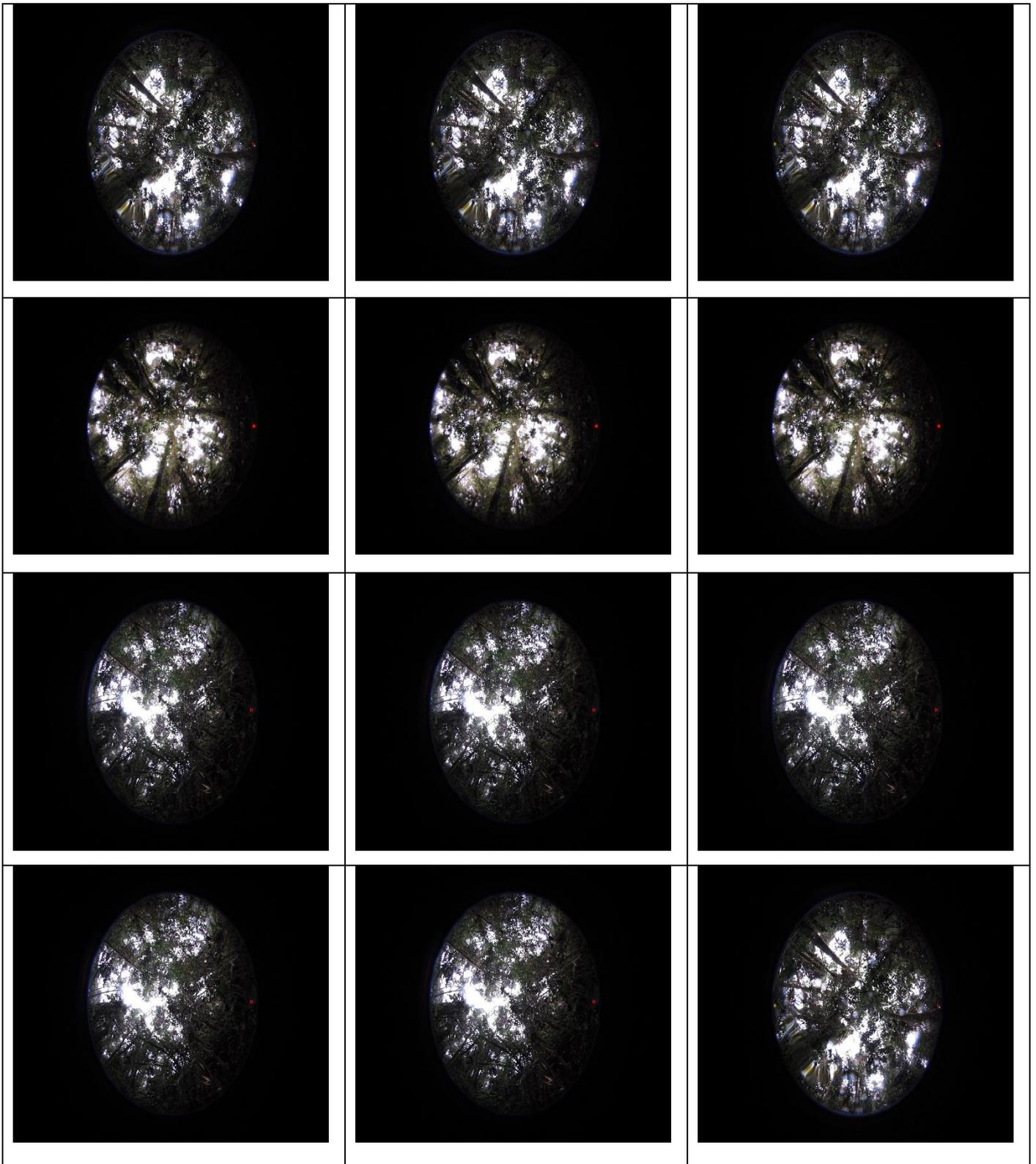
**Anexo 6.-** Fotografías hemisféricas tomadas en el primer piso altitudinal.



**Anexo 7.-** Fotografías hemisféricas tomadas en el segundo piso altitudinal.



**Anexo 8.-** Fotografías hemisféricas tomadas en el tercer piso altitudinal.



**Anexo 9.-** Materiales de campo.

Cinta de marcaje.	Flexometro.
	
Focos LED.	Piola.
	
Botas	Machete.
	

**Anexo 10.- Equipos utilizados en el campo.**

Cámara SIGMA	Trípode nivelante.
	
	
	