



**UNAP**

**Facultad de  
Ciencias Forestales**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE  
BOSQUES TROPICALES**

**TESIS**

**RESPIRACIÓN AUTOTRÓFICA Y HETEROTRÓFICA EN TRES TIPOS DE  
BOSQUE DEL DISTRITO DE JENARO HERRERA, LORETO PERÚ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ECOLOGÍA DE BOSQUES TROPICALES**

**Presentado por:**

**Bach. VEGA BARDALES DAMARIS NOEMI**

**ASESOR**

**Ing. RILDO ROJAS TUANAMA**

**Iquitos – Perú**

**2019**



ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 829

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentada por la bachiller DAMARIS NOEMI VEGA BARDALES, titulada: "RESPIRACIÓN AUTÓTRÓFICA Y HETEROTRÓFICA EN TRES TIPOS DE BOSQUE DEL DISTRITO DE JENARO HERRERA, LORETO PERÚ", formuladas las observaciones y analizadas las respuestas,

la declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:


MUY BUENO

En consecuencia queda en condición de ser calificada:

APTO

Y, recibir el Título de Ingeniera en Ecología de Bosques Tropicales.

Iquitos, 27 de abril 2018

  
Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.  
Presidente

  
Ing. PEDRO ANGEL ANGULO RUIZ, M.Sc.  
Miembro

  
Ing. JARLIN ARELLANO VALDERRAMA  
Miembro

  
Ing. RILDO ROJAS TUANAMA, M.Sc.  
Asesor

Respiración autotrófica y heterotrófica en tres tipos de bosque del distrito de  
Jenaro Herrera, Loreto-Perú

MIEMBROS DEL JURADO



.....  
Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.  
Presidente

RG CIP N° 45725



.....  
Ing. PEDRO ANGEL ANGULO RUIZ, M.Sc.  
Miembro

RG CIP N° 40933



.....  
Ing. JARLIN ARELLANO VALDERRAMA  
Miembro

RG CIP N° 65945



.....  
Ing. RILDO ROJAS TUANAMA, M.Sc.  
Asesor

RG CIP N° 86706

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mis padres Edith Bardales y Marco Vega por su apoyo incondicional en el día a día de mi carrera universitaria y por motivarme constantemente para alcanzar mis metas y mis sueños, estoy y estaré siempre agradecida.

A mi hermana Raquel, por el apoyo moral y económico que me brindó, también dedico a mis dos hermanas Raziél y Flavia, por el apoyo brindado durante todo el proceso de la tesis.

A mi tía Nora Bardales por el amor de madre que me tiene y por el apoyo emocional que me dio durante los 5 meses que no estuve en casa.

A mi tío Pollito por la confianza y la Fe que depositó en mí desde que entre a la universidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al equipo del programa Probosques del IIAP por el financiamiento para realizar esta investigación y al Biólogo Jhon Del Águila por las enseñanzas brindadas.

A los trabajadores del CIJH Leonardo Ríos, Clever, Don Nitsen y a mis amigas tesisistas que me apoyaron en la toma de datos Mariana Paz, Erika Morales y Karen Arévalo y a los buenos amigos que hice allá y me apoyaron en todo momento. Y a shina mishel por nunca dejarme de dar palabras de aliento para seguir adelante.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<u>Descripción</u>	<u>Pág.</u>
CARATULA.....	I
ACTA DE SUSTENTACION.....	II
MIEMBROS DEL JURADO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
<i>LISTA DE CUADROS</i> .....	<i>ix</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>x</i>
<i>RESUMEN f f</i> .....	<i>xi</i>
<b><i>I. INTRODUCCIÓN</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>II. EL PROBLEMA</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
2.1. Descripción del problema .....	1
2.2. Definición del problema .....	1
<b><i>III. HIPÓTESIS</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
3.1. Hipótesis General .....	3
3.2. Hipótesis Alterna (s).....	3

<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
4.1. Objetivo general .....	4
4.2. Objetivos específicos .....	4
<b>V. VARIABLES</b> .....	<b>5</b>
5.1. Identificación de variables, indicadores e índices .....	5
5.2. Operacionalización de variables .....	5
<b>VI. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
6.1. Antecedentes .....	6
6.2. Marco teórico .....	12
<b>VII. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>26</b>
<b>VIII. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
8.1. Lugar de ejecución .....	27
8.2. Materiales y Equipos .....	30
8.3. Método .....	31
8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	37
8.5. Técnica de presentación de resultados .....	37
<b>IX. RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>

9.1. Composición florística por tipo de bosque .....	38
9.2. Respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque .....	40
9.3. Respiración del fuste a nivel de especie, género y familia .....	41
9.4. Relación de la temperatura y la respiración autótrofa y heterótrofa por tipi de bosque.....	46
9.5. Asociación de la respiración autótrofa y heterótrofa .....	48
<b>X. DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>XI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>XII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>XIII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>



## LISTA DE CUADROS

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG</b>
1.	Variables, indicadores e índices del estudio.	5
2.	Características de EGM-4 (PP-Systems, Hitchin, UK)	25
3.	Relación de especies, géneros y familia del bosque de terraza alta	38
4.	Relación de especies, géneros y familia del bosque de varillal alto.	39
5.	Relación de especies, géneros y familia del bosque de restinga alta.	40
6.	Respiración autótrofa por tipo de bosque	41
7.	Respiración heterótrofa por tipo de bosque.	43
8.	Respiración total por tipo de bosque y componentes	44
9.	Relación entre la temperatura ambiente y respiración por componentes	47
10.	Correlación de componentes de la respiración autótrofa y respiración Heterótrofa	48

## LISTA DE FIGURAS

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG</b>
1.	Respiración total del suelo (Marthew et al.,2012).	13
2.	EGM-4 – PP SYSTEMS, HITCHIN, UK.	24
3.	Diseño de la parcela de 100 x 100 m <sup>2</sup> en el bosque de terraza alta.	31
4.	Diseño de la parcela de 200 x 50 m <sup>2</sup> en el bosque de Varillal alto.	31
5.	Diseño de la parcela de 100 x 100 m <sup>2</sup> en el bosque de restinga alta.	32
6.	Diseño de los tubos en las 3 filas y las 3 columnas.	32
7.	Tubos instalados en los vértices de cada parcela.	33
8.	Tubos rotulados con los códigos C, S y D que significan “C” con hojarasca, “S” sin hojarasca y “D” doble de hojarasca.	34
9.	Los tubos fueron instalados a partir de 1,5 m y fueron sellados con masillas.	35
10.	Respiración del fuste y área basal en el bosque de terraza alta.	45
11.	Respiración del fuste en el bosque de varillal alto húmedo	45
12.	Respiración del fuste en el bosque de restinga alta.	46
13.	Mapa de ubicación del área de estudio	66
14.	Preparación los tubos para la respiración del fuste.	67
15.	Vista del proceso de pegado en llantas ya cortas a los tubos para poder colocar en el fuste con ayuda de las cintas plásticas.	67
16.	Tubos de 40 cm con ventanas, listos para la instalación de los componentes del suelo.	68

## RESUMEN

El estudio sobre la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta en el distrito de Jenaro Herrera, Loreto-Perú, tuvo como objetivo evaluar la respiración autotrófica (raíz y fuste) y heterotrófica (micorrizas, hojarasca, capa mineral y materia orgánica) en 25 árboles con DAP  $\geq 10$  cm; se evaluó parcelas de 1 ha por tipo de bosque. En la respiración autótrofa de la zona de la raíz y el fuste, presenta mayor valor el bosque de Varillal alto con  $4,66 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $716,88 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; mientras que menor valor reporta el bosque de terraza alta con  $3,73 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para la raíz y el bosque de restinga alta con  $647,29 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el fuste. La respiración heterótrofa muestra al bosque de varillal alto húmedo con el más alto valor en la capa mineral con  $166,18 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , micorrizas ( $3,87 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), hojarasca ( $3,85 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y materia orgánica ( $7,81 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y menor valor exhibe el bosque de restinga alta con  $128,72 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La respiración total por componentes presenta al bosque de varillal alto húmedo con el más alto valor ( $150,54 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y menor valor presenta el bosque de restinga alta ( $132,49 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Asimismo, el componente fuste es el que obtuvo el mayor valor con  $2045,17 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y menor valor ostenta la hojarasca con  $10,60 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El grado de asociación entre la respiración de cada componente y la temperatura promedio, muestran a la raíz, materia orgánica y micorrizas con una alta asociación inversa con  $r = -0,99$ ,  $-0,98$  y  $-0,97$  respectivamente. La respiración del fuste presenta una fuerte asociación con la respiración de la capa mineral ( $r=0,997$ ,  $p<0,05$ ).

**Palabras claves:** Respiración, autótrofa, heterótrofa, carbono.

## I. INTRODUCCIÓN

En años recientes, se ha prestado mucha atención a la respiración del suelo, debido a que este proceso ecológico se reconoce como la principal fuente de flujo de carbono procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger 1992; Raich y Potter 1995). La respiración del ecosistema se compone de la respiración de la cobertera foliar, del tejido leñoso y de las raíces de los árboles (respiración autotrófica) así como de la respiración de los microorganismos del suelo (respiración heterotrófica) (Janssens y Lankreijer *et al.*, 2001). La suma entre las respiraciones autotróficas y la heterotrófica del suelo es lo que se denomina respiración del suelo.

Para entender mejor el balance de carbono, es necesario evaluar la respiración del suelo, debido a que este es un buen indicador de cuanto carbono se está perdiendo naturalmente. En el bosque se puede reconocer dos tipos de respiración, uno es la respiración autotrófica que es realizada por organismos que realizan la fotosíntesis como la raíz y fuste. Y la otra que es la respiración heterotrófica es mediada por organismos que no realizan la fotosíntesis, entre ellos se encuentra la materia orgánica, micorrizas, capa mineral y hojarasca. Por tanto, este estudio tuvo como propósito estudiar la respiración realizada por organismos autotróficas y heterotróficas en los bosques amazónicos, como es el caso de los bosques de Jenaro Herrera, para entender mejor la dinámica de la respiración y como esto afecta al ciclo de carbono.

## **II. EL PROBLEMA**

### **2.1. Descripción del problema**

Se conoce muy poco acerca del comportamiento de la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de la región Loreto. Una de las principales causas del problema es que no existen reportes ni investigación previa en este tema. Debido a que muchos de los estudios sobre el ciclo de carbono se centran solamente en la evaluación de los stocks y en algunos flujos como la ganancia de biomasa o productividad primaria neta. Además, otras de las causas es que resulta complicado acceder a metodologías y materiales necesarios para la evaluación de la respiración. Prueba de esto es que solamente existe un trabajo de investigación relacionado al tema y que fue desarrollado en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. Todo esto conlleva a que se conozca poco acerca del balance del ciclo de carbono en estos bosques; es decir, aparte de saber cuánto de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) captura el bosque también es muy importante definir cuánto aporta a la atmósfera. En ese sentido, es necesario estudiar la respiración, mediada por organismos autótrofos y heterótrofos, usando una metodología estándar que permitirá cubrir el vacío de información existente en el tema. Con ese fin se plantea evaluar estas variables en tres tipos de bosque ubicados en la localidad de Jenaro Herrera.

### **2.2. Definición del problema**

¿Cómo se comporta la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera, Loreto-Perú?

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis general**

La respiración autotrófica y heterotrófica varía en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera, Loreto-Perú.

#### **3.2. Hipótesis alternas**

- ✓ Existe diferencia entre la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ La temperatura está relacionada a la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ La respiración autotrófica del fuste difiere en las familias botánicas en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Evaluar la respiración autotrófica y heterotrófica en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera, Loreto-Perú.

### 4.2. Objetivos específicos

- ✓ Conocer la composición florística de los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ Determinar la respiración autótrofa y heterótrofa de los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ Comparar la respiración de fuste a nivel de especie, género y familia botánica de los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ Determinar la relación entre la temperatura ambiente y la respiración autótrofa y heterótrofa de los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.
- ✓ Determinar si existe asociación estadística entre la respiración autótrofa y heterótrofa en los bosques de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta del distrito de Jenaro Herrera.

## V. VARIABLES

### 5.1. Identificación de variables, indicadores e índices

En el presente estudio se consideraron las siguientes variables:

#### Variable independiente:

- **Especies forestales**, con sus indicadores: bosque varillal alto húmedo, bosque de terraza alta y bosque de restinga alta. Los índices son: la ha.

#### Variable dependiente:

- **Respiración del suelo**, con sus indicadores: hojarasca, micorrizas, materia orgánica y capa mineral. Los índices son: t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>
- **Respiración del fuste**, con sus indicadores: raíz y fuste. Los índices son: t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

### 5.2. Operacionalización de variables

**Cuadro 1.** Variables, indicadores e índices del estudio

Variables	Indicadores	Índice
<b>Variable independiente</b>		
Especies forestales	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bosque varillal alto húmedo</li><li>▪ Bosque de terraza alta</li><li>▪ Bosque de restinga alta</li></ul>	Ha
<b>Variables dependientes</b>		
Respiración del suelo	Hojarasca Micorrizas Materia Orgánica Capa mineral	t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
Respiración del fuste	Raíz y fuste	t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>



## VI. REVISIÓN DE LITERATURA

### 6.1. Antecedentes

Ramírez y Moreno (2008), realizaron sus investigación en 10 parcelas permanentes (5 en bosques primarios – BP y 5 en bosques secundarios–BS) establecidas en el área de influencia de la región de Porce, Colombia. El objetivo de este trabajo fue estimar las tasas de respiración del suelo y sus componentes (respiración de raíces y de microorganismos), y evaluar el control que sobre las tasas de emisión de CO<sub>2</sub> ejerce factores como la humedad y la temperatura del suelo. Para este fin se midió la emisión de CO<sub>2</sub> del suelo durante un año, en 10 parcelas con una cámara de respiración de suelo conectada a un analizador de gases infrarrojo. La tasa promedia anual de respiración fue 15,91 (0,71) t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en BP y 14,03 (0,75) t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en BS, respectivamente.

El estudio que realizó Chambers *et al.* (2004), sobre la respiración de un ecosistema forestal tropical se llevó a cabo en una de las reservas del INPA, Amazonia central cerca de la ciudad de Manaus, Brasil, para sus investigaciones midió la respiración del fuste de cincuenta árboles, estos árboles fueron seleccionados a partir de cinco crecimientos relativos. Se midió utilizando un analizador de gases infrarrojo (IRGA, LI 6252 con una unidad de control de flujo LI-670), con esta investigación demostró que había una variación considerable en la respiración del tejido arbóreo en relación a la unidad de superficie de tallo, con variación de más de dos órdenes de magnitud de 0,027 a 3,64  $\mu\text{molJm}^{-2}$  (tallo)-s<sup>-1</sup> (n = 391 medidas). Esta variación no era simplemente debido a diferencias entre especies, ya que dentro de las mismas especies la variación también es completamente alta.

**Cuadro 1.** Respiración total del suelo promedio por periodo en distintos ecosistemas o usos del suelo

<b><i>Ecosistema o tipo de uso del suelo</i></b>	<b><i>Época o periodo de medición</i></b>	<b><i>Respiración total del suelo - promedio (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</i></b>	<b><i>Ubicación</i></b>	<b><i>Temperatura media anual del aire (°C)</i></b> <b><i>Precipitación (mm/año)</i></b>	<b><i>Fuente</i></b>
Bosque templado tropical con estación seca	Verano	51,48 - 82,42	Costa este Vancouver, Canadá	8,6 899	Jassal <i>et. al.</i> 2007
Matorral mediterráneo desértico oceánico	Verano	1,10 - 1,42	Coquimbo, Chile	14,4 32,3	Llambias, 2009
Matorral mediterráneo desértico oceánico Plantación <i>Acacia saligna</i>	Verano	0,70 - 0,75	Coquimbo, Chile	14,4 32,3	Llambias, 2009
Bosque primario	Sept. 2005 - Sept. 2006	58,35	Porce, Colombia	23,4 1920	Ramírez y Moreno, 2008
Bosque secundario	Sept. 2005 -	51,45	Porce, Colombia	23,4 1920	Ramírez y Moreno,

<b><i>Ecosistema o tipo de uso del suelo</i></b>	<b><i>Época o periodo de medición</i></b>	<b><i>Respiración total del suelo - promedio (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</i></b>	<b><i>Ubicación</i></b>	<b><i>Temperatura media anual del aire (°C)</i></b> <b><i>Precipitación (mm/año)</i></b>	<b><i>Fuente</i></b>
	Sept. 2006				2008
Monocultivo de cebada en siembra directa	Febrero – mayo	8,99	Senés de Alcubierre, España	13,5 328 (déficit hídrico)	Mendiara, 2012
Suelo abandonado labrado	Febrero – mayo	19,26	Senés de Alcubierre, España	13,5 328 (déficit hídrico)	Mendiara, 2012
Suelo abandonado no alterado	Febrero – mayo	14,45	Senés de Alcubierre, España	13,5 328 (déficit hídrico)	Mendiara, 2012
Suelo plantación forestal	Febrero – mayo	9,63	Senés de Alcubierre, España	13,5 328 (déficit hídrico)	Mendiara, 2012
Plantación de Tornillo	Oct. 2009 - Mayo 2010	19,26	Jenaro Herrera, Loreto	26,8 2759	Porlles, 2011
Bosque en terraza alta	Oct. 2009 - Mayo 2010	14,62	Jenaro Herrera, Loreto	26,8 2759	Porlles, 2011

<b>Ecosistema o tipo de uso del suelo</b>	<b>Época o periodo de medición</b>	<b>Respiración total del suelo - promedio (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Temperatura media anual del aire (°C) Precipitación (mm/año)</b>	<b>Fuente</b>
Varillal	Oct. 2009 - Mayo 2010	13,04	Jenaro Herrera, Loreto	26,8 2759	Porlles, 2011

Estudios realizados reportan diferencias estadísticamente significativas en la respiración total del suelo entre los diferentes usos y los diferentes días de muestreo, así como variación estacional. En este sentido, la respiración total del suelo es variable espacialmente en función del tipo de cobertura por la presencia o ausencia de respiración autotrófica (concentración de raíces) y/o heterotrófica (por acumulación de materia orgánica que favorece la presencia de microorganismos), y temporalmente por cambios en las variables ambientales, principalmente de humedad y temperatura del suelo. (Metcalf, 2007; Mendiara, 2012; Martínez-García *et al.*, 2013).

Las zonas áridas presentan bajo contenido de materia orgánica en el suelo y tiene baja capacidad de almacenar carbono y fijar CO<sub>2</sub> por unidad de superficie siendo la respiración total del suelo uno de los principales procesos de pérdida de carbono. Una investigación realizada en un matorral mediterráneo desértico reportó flujos de respiración del suelo considerablemente bajos en comparación con los reportados en zonas tropicales. Esto se explica debido a que en zonas desérticas la actividad microbiana está limitada por la humedad, por lo que la descomposición está ligada a

escasos eventos de precipitación y entrada de materia orgánica (Llambias, 2009; Austin *et al.*, 2004; Fisher *et al.*, 1987).

Mendiara (2012), reporta cuatro usos diferentes del suelo donde la mayor emisión de dióxido de carbono ocurre en el suelo abandonado labrado, a partir de lo que se concluye que los suelos con mayor laboreo representan mayor descomposición del carbono orgánico, es decir mayores emisiones de CO<sub>2</sub> desde el suelo. A su vez el suelo forestal presentó el mayor contenido de carbono y la menor emisión de CO<sub>2</sub>. Esta baja emisión en el suelo forestal podría deberse a la baja temperatura que alcanza el suelo, lo cual limita la actividad descomponedora de los microorganismos presentes, o la falta de oxígeno por la alta humedad del suelo. De esto se deduce que, la reducción de la conversión de suelos en áreas de cultivo agrícola permite reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera por la respiración del suelo.

Del mismo modo, una evaluación realizada en Jenaro Herrera, en el ámbito del presente estudio, reportó que los suelos de los bosques tropicales presentan diferentes emisiones de dióxido de carbono, los bosques disturbados y con alta dinámica de recuperación presentan mayor respiración de suelos que los bosques en estadios sucesionales avanzados, es decir que los suelos más perturbados emiten más CO<sub>2</sub> (Porlles, 2011).

Un estudio realizado en el año 2007, en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino de Colombia en estado de barbecho desde 1997, y con espacios colonizados por especies arbustivas reporta que el comportamiento de la respiración total del suelo se ve reducida por la pérdida de cobertura vegetal y por el deterioro de la capa orgánica del suelo del bosque nativo, que fue transformado por el hombre

para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas. Es decir, a pesar de los diez años sin intervención humana esta comunidad no ha logrado recuperar su cobertura vegetal ni la materia orgánica del suelo, lo que reduce la actividad microbiana (respiración heterótrofa) y consecuentemente los valores de respiración total del suelo (Murcia y Ochoa, 2008).

Delpiano (2009), evaluó el contenido de carbono del suelo a nivel de sitio y de ecosistema en un matorral desértico natural costero y en uno forestado detectando mayores contenidos en el sitio natural y también que el ecosistema de matorral natural contiene 44% más carbono que el forestado. Esto fue atribuido a las diferentes coberturas vegetales y a la preparación del suelo para la forestación que como refieren otros autores propicia el incremento de la actividad microbiana y con eso las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por respiración heterotrófica del suelo.

Por otra parte, señalan que en el corto plazo, las actividades relacionadas con el uso del suelo como cambios de uso, actividades agrícolas y forestales, pueden tener un papel importante en la reducción de emisiones del CO<sub>2</sub> a la atmósfera. De modo más explícito, bajo condiciones adecuadas los suelos pueden actuar como sumideros de carbono. Esto dependerá de nuestra capacidad para estimar las cantidades secuestradas y emitidas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (balance positivo de carbono), es decir de la mayor cantidad de conocimiento sobre la dinámica del carbono (FAO, 1999; Orellana, 2012).

Una práctica recomendable para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por respiración del suelo y favorecer el secuestro de carbono es la Agricultura de Conservación. Los restos vegetales sobre la superficie del suelo, así como evitar el laboreo del suelo (por acciones mecánicas o manuales) traen como consecuencia directa la reducción

de la actividad de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica del suelo que producen emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por respiración heterótrofa. Esto se debe a que, no se modifican las condiciones microclimáticas del suelo como temperatura, humedad y el incremento de aireación por la ruptura de agregados del suelo (Ordoñez, 2008; Mendiara, 2012).

## **6.2. Marco teórico**

### **Cambio climático**

IPCC (2013), define al cambio climático como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese promedio (por ejemplo más o menos eventos climáticos extremos). El cambio climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarcar toda la superficie terrestre.

### **Ciclo de carbono**

Honorio y Baker (2010), sostienen que el ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono. Y recalcan que en este ciclo, lo más importante que debemos entender, es la diferencia entre un stock y un flujo de carbono. En un bosque tropical, el stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock.

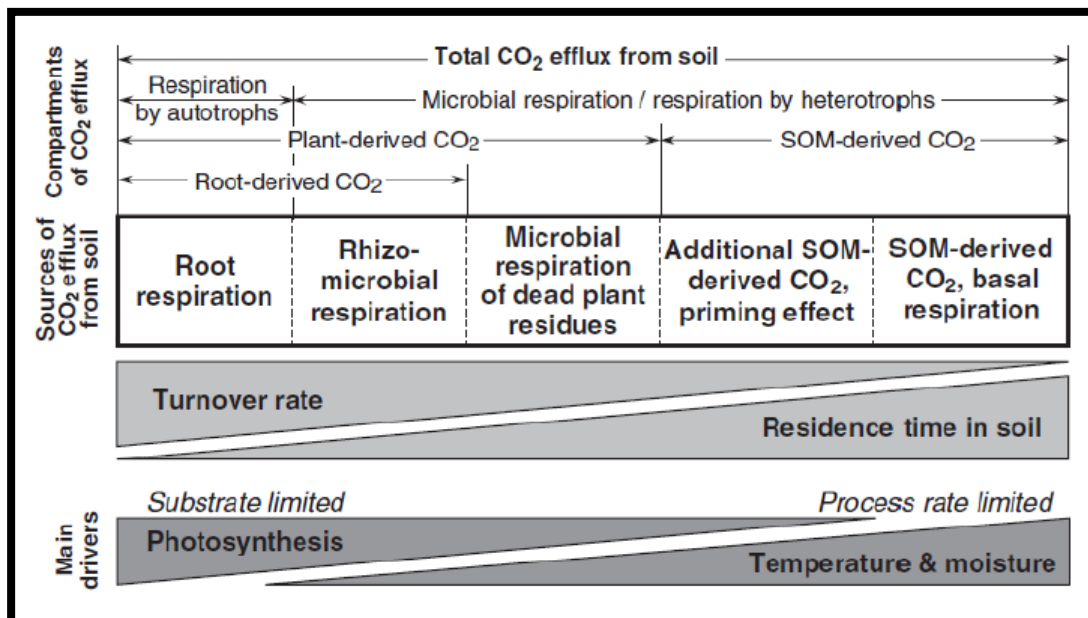
Los estudios del ciclo global del carbono muestran que en la atmósfera sólo se encuentra aproximadamente el 40% del CO<sub>2</sub> liberado por la combustión del carbono

fósil y la deforestación. El resto es absorbido por los océanos y ecosistemas terrestres en partes aproximadamente iguales (Saugier y Pontailier, 2006).

### Flujo de CO<sub>2</sub> y respiración total del suelo

El flujo de CO<sub>2</sub> es la variable usada para estudiar los intercambios entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera. Puede descomponerse en flujo debido a la actividad fotosintética que fija CO<sub>2</sub> atmosférico y el flujo debido a la respiración que libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. De modo específico, la respiración total del ecosistema está compuesta por la respiración de la cobertura foliar, del leño y la respiración autotrófica de las raíces de los árboles así como de la respiración heterotrófica de los microorganismos del suelo. Así, la suma de la respiración autotrófica y heterotrófica del suelo se denomina Respiración total del suelo (Oviedo, 2007).

**Figura 1.** Respiración total del suelo (Marthews *et al.*, 2012)



El flujo de CO<sub>2</sub> y la respiración del suelo son medidos por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Las unidades que se utilizan frecuentemente son  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  o  $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  (Oviedo, 2007; Honorio y Baker, 2010).



La respiración total del suelo es la principal fuente de flujo de carbono y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger 1992; Raich y Potter, 1995) y cumple un rol crítico en la determinación de un amplio rango de fenómenos ecológicos que van desde el funcionamiento individual de las plantas hasta la concentración global del CO<sub>2</sub> atmosférico (Luo y Zhou, 2006). Considerando que las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales del suelo son aproximadamente diez veces más altas que la combustión de compuestos fósiles y la deforestación (Raich *et al.*, 2002), se sugiere que las pequeñas modificaciones en la respiración del suelo podrían influir enormemente en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (Schlesinger y Andrews, 2000; Adachi *et al.*, 2006).

Además, a escala global, la respiración libera mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en comparación a las emisiones por actividades antrópicas, es decir, el carbono almacenado en el suelo del que se libera CO<sub>2</sub> es cuatro veces mayor al de la atmósfera. Por esto, un pequeño cambio en la respiración del suelo puede afectar seriamente el balance de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Lou y Zhou, 2006). De modo más específico, la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> medida en la superficie del suelo y correspondiente a la respiración de raíces bajo el suelo y a la respiración microbiana, reportó en datos colectados por cinco años en un bosque mixto de maderas duras dominado por álamos, una contribución de 71% de las emisiones de CO<sub>2</sub> medidas en la superficie del suelo a la respiración del ecosistema (Lou y Zhou, 2006).

La degradación física y química de la materia orgánica del suelo proveniente de restos de plantas, animales y material microbiano causa un descenso en el contenido de detritos conforme los materiales son transformados a dióxido de carbono y

nutrientes inorgánicos que serán aprovechados por la vegetación y microorganismos del sistema. Este dióxido de carbono se almacena entre los poros del suelo y se va liberando desde la superficie del suelo hacia la atmósfera mediante un proceso de difusión entre zonas del suelo con diferentes concentraciones. Así, la medición de la respiración del suelo puede representar una estimación de actividad microbiana que se ve influenciado por factores como la temperatura y humedad del suelo, el pH del suelo, el contenido de arcillas, alteraciones del suelo y las características de la comunidad microbiana. Por lo tanto, la respiración del suelo puede ser considerada como una de las consecuencias de la descomposición de la materia orgánica (Mendiara, 2012; Mora, 2006).

Las mediciones de la respiración del suelo tomadas en campo, en muchas ocasiones presentan una gran variabilidad, que produce distribuciones asimétricas de datos, lo cual dificulta el análisis estadístico para detectar diferencias entre tratamientos. La manera de solucionar esta alta variabilidad es aumentar la intensidad de muestreo, es decir tomar una cantidad relativamente elevada de medidas en un corto periodo de tiempo (Parkin y Robinson, 1992; Parkinson, 1981). Además, es recomendable realizar la transformación de datos de poblaciones con distribución anormal para que cumplan la condición de normalidad (Aragao *et al.* 2009).

### **Respiración**

De acuerdo a Moreira y Siqueira (2002), la respiración es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Ella representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO<sub>2</sub> por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan oxígeno (O<sub>2</sub>) como aceptor final de electrones, hasta el CO<sub>2</sub>.

Parkin *et al.* (1996), señala que la respiración, es la producción de CO<sub>2</sub> como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismo, raíces vivas y macroorganismo tales como lombrices, nemátodos o insectos.

### **Respiración autotrófica**

Marthews *et al.* (2012), sostiene que la respiración del suelo se refiere al flujo de salida total de CO<sub>2</sub> del suelo, lo cual representa el efecto conjunto de la respiración de heterótrofos y autótrofos actuando sobre diferentes compartimentos del suelo.

La respiración del suelo es derivada de la respiración autotrófica de raíces y respiración heterotrófica de los microorganismos que descomponen la materia orgánica y la hojarasca de la superficie del terreno (Metcalf *et al.* 2007).

Boone *et al.* (1998), mencionan que la respiración autotrófica incluye la respiración de raíces y la descomposición de materia orgánica lábil derivada de las raíces (detritos y exudados) por parte de la microbiota de la rizósfera. El aporte de la respiración autotrófica a la respiración del suelo puede variar entre 10 y 90%, según el tipo de vegetación y la estación del año.

### **Respiración heterotrófica**

Según Díaz *et al.* (2009), afirman que la respiración heterótrofa del suelo (descomposición microbiana de la materia orgánica) representa un flujo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera mucho mayor que el debido al uso de combustibles fósiles. Dicho flujo depende, entre otros factores, de la cantidad y calidad del despojos orgánico y de la biomasa microbiana del suelo.

El CO<sub>2</sub> de los suelos producidos principalmente por la respiración de las raíces vivas y los organismos heterótrofos; la gran mayoría de este CO<sub>2</sub> es emitido a la

atmosfera en el proceso conocido como respiración del suelo, flujo de CO<sub>2</sub> o respiración de CO<sub>2</sub> en el suelo (Raich y Schlesinger, 1992).

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera son afectadas principalmente por dos procesos antropogénicos: emisión de CO<sub>2</sub> por el consumo de combustible fósil, y por cambios en el uso del suelo, agricultura migratoria. La concentración atmosférica CO<sub>2</sub> se ha incrementado de 280 ppm a 350 ppm en los pasados 250 años y algunas proyecciones indican que para el año 2100 la concentración podría alcanzar 630 ppm (Montoya *et al.*, 1995).

### **Respiración del fuste**

La respiración del fuste y su contribución a la respiración del ecosistema pueden variar con el tiempo en relación con la sensibilidad de crecimiento del fuste, la fotosíntesis, transporte carbohidrato o movilización de nitrógeno a factores climáticos como la temperatura y las precipitaciones. Teniendo en cuenta que la temperatura y la sequía se prevén un aumento en muchas regiones del mundo es crucial para evaluar mejor cómo afectarán la respiración del fuste a diferentes escalas temporales (Giorgi, 2006). La respiración del fuste es un componente importante de los contenidos de los árboles y de carbono de los ecosistemas; por encima de los tejidos leñosos de tierra que representa el 5-40% de la respiración total anual entre los diferentes ecosistemas forestales. (Lavigne *et al.*, 1997; Xu *et al.*, 2001; Damesin *et al.*, 2002; Bolstad *et al.*, 2004; Zha *et al.*, 2004; Gaumont-Guay *et al.*, 2006; Acosta *et al.*, 2008; Maseyk *et al.*, 2008; Tang *et al.*, 2008; Wieser *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010; Guidolotti *et al.*, 2013).

La contabilización de la influencia de la temperatura y la disponibilidad de agua en la respiración del fuste mejorará las estimaciones de la respiración del ecosistema

y la partición entre los componentes del ecosistema, pero hasta ahora la influencia de ambos factores climáticos se pasa por alto en gran medida en la parametrización de la mayoría de los modelos de vegetación (Smith y Dukes, 2013).

La tasa de respiración del fuste aumenta a medida que aumentan las temperaturas dentro de un día o durante todo el año, pero a menudo se pasa por alto que la tasa de aumento no es necesariamente la misma entre las dos escalas de tiempo al realizar extrapolaciones temporales (Damesin *et al.*, 2002; Tang *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2010; Guidolotti *et al.*, 2013).

### **Factores y procesos que influyen en la respiración total del suelo**

La respiración del suelo está regulada por diferentes factores bióticos y abióticos como la temperatura, el contenido hídrico, los nutrientes, la estructura de la vegetación, la actividad fotosintética, las propiedades del suelo como tamaño de poros y textura, la biomasa de raíces y la presencia microbiana (Subke *et al.*, 2006; Adachi *et al.*, 2006; Raich y Schlesinger, 1992). Dichos factores pueden variar en el espacio y tiempo, así como por los usos del suelo.

#### **a. Variación espacial y temporal**

Se observa que existe una gran heterogeneidad y variabilidad tanto espacial como temporal en la respiración del suelo y sus componentes. Esto se debe a que la respiración total de suelo es producto de la respiración autotrófica y heterotrófica, las cuales se encuentran influenciadas por factores biológicos como la cobertura vegetal, factores físicos como el tipo de suelo y la presencia de hojarasca, y factores climáticos como la temperatura y la humedad del suelo, siendo estos últimos los más influyentes en la variación temporal diaria y estacional de la respiración total del suelo. Sin embargo, la sensibilidad de esta variación temporal a las condiciones ambientales es compleja y no lineal, dicho de otro modo no es fácilmente atribuible

a los cambios de temperatura y humedad del suelo (Kobziar, 2007; Xu y Qi, 2001; Hanson *et al.*, 1993; Metcalfe, 2007).

En bosques tropicales, el factor que tiene mayor influencia sobre la variación temporal de la respiración del suelo, no es tanto la temperatura edáfica sino el contenido de agua o precipitación debido a que la temperatura del suelo es relativamente constante (Kursar, 1989; Davidson *et al.*, 2000).

#### **b. Perturbación, usos del suelo y materia orgánica**

La perturbación de los ecosistemas es un factor de importancia en la respiración del suelo. Los suelos naturales retiene carbono en micragregados estables por cientos a miles de años hasta que las condiciones medioambientales cambian y/o se producen cambios de uso que rompen la estructura estable del suelo (Luo y Zhou, 2006).

Los cambios de uso del suelo, como las prácticas de cultivo ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbianas del suelo. La influencia del arado o labranza es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias, inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta de 20 a 30 veces, debido a la modificación de la porosidad. Esta práctica rompe los agregados del suelo y expone la materia orgánica al ataque microbiano, por lo tanto aceleran la descomposición y las pérdidas (liberación) de dióxido de carbono por respiración del suelo a la atmósfera. Las entradas de carbono se pueden lograr dejando crecer más la biomasa de cultivos, dejando mayor cantidad de biomasa *in situ*, incrementando la productividad primaria neta (PPN) bajo el suelo, y dejando crecer la cobertura de cultivos en partes del año (Luo y Zhou, 2006; Mora, 2006; Mendiara, 2012).

Por el contrario, Mendiara 2012, indica que el abandono de tierras perturbadas para su recuperación progresiva no presenta la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por respiración total del suelo. El suelo abandonado inalterado, debería reportar menores emisiones de CO<sub>2</sub> sin embargo ocupa el segundo lugar más alto, además la descomposición de este suelo tiene una relación positiva con la temperatura, lo cual discrepa con otros estudios que identifican el abandono de tierras agrícolas como buenas prácticas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Mendiara, 2012; Smith *et al.*, 2008)

Existen diferencias estadísticas en la evaluación del efecto de los cambios de uso del suelo sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los bosques presentan una tasa de respiración menor que los suelos de cultivo, lo que sugiere que los suelos de bosques actúan como sumideros de carbono y confirma que los cambios de uso del suelo conllevan al aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Vásquez, 2013).

### **c. Inundación**

Otro factor influyente en la respiración del suelo es el grado de inundación. Los suelos inundados presentan condiciones anaerobias, y la respiración del suelo en estos está sujeta a la presencia de bacterias y levaduras, aunque en algunas situaciones ocurrirá la respiración de raíces de plantas adaptadas a zonas inundables (hidrofitas). En el caso de suelos bien drenados, la respiración será principalmente aerobia lo que implicará intercambios libres del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> por la microflora, la microfauna, la macrofauna, y las raíces de la planta. Sin embargo, en los suelos húmedos, al menos una mínima contribución en la producción de CO<sub>2</sub> se debe a los habitats de los microorganismos del suelo. El grado de esta contribución dependerá de la estructura del suelo y de su contenido de agua. Así, suelos bien drenados permiten o

incrementan la aireación del suelo y con ello se incrementa el índice de respiración del suelo quitando el oxígeno limitado por los organismos del suelo (Anderson, 1982).

La acumulación de carbono es mayor en suelos muy húmedos, debido a que la descomposición de la materia orgánica está limitada por los altos valores de humedad, pues los organismos descomponedores y las plantas son más productivos bajo condiciones de humedad intermedias, donde cuentan suficiente oxígeno disponible (Mendiara, 2012), es decir las condiciones de anoxia de zonas inundadas favorecen a la captura de carbono en el suelo, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> por la respiración total del suelo.

#### **d. Precipitación**

La precipitación es el factor de mayor influencia sobre la variación temporal de la respiración del suelo en bosques tropicales (Kurzar 1989, Davidson *et al.*, 2000). Los mayores rangos de respiración del suelo ocurren en bosques húmedos tropicales donde la temperatura y humedad son mayores todo el año. Por lo que a gran escala la respiración del suelo esta correlacionada significativamente con la precipitación media anual. Además la temperatura permite una buena predicción de la respiración del suelo en una locación específica, pero incluir a la precipitación incrementa el poder de predicción (Raich y Schlesinger, 1992).

Del mismo modo, Llambias (2009), menciona que la respiración del suelo es un proceso complejo y sensible a variaciones ambientales. Tradicionalmente, se ha relacionado a la respiración del suelo con la temperatura y humedad del suelo, sin embargo en la investigación realizada por este autor, dichas variables no fueron relevantes en los modelos generados, en cambio la temperatura ambiente y



humedad relativa del aire fueron más explicativas. En consecuencia, se sugiere que nuevas investigaciones incorporen otras variables como la precipitación.

El descenso de la precipitación propicia un aumento en las horas de brillo solar, lo cual ejerce un efecto sobre las condiciones de humedad relativa y temperatura máxima, por ende, ocasiona un aumento de las tasas de evaporación. Este incremento de la temperatura máxima favorece un flujo mayor de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (Murcia y Ochoa, 2008).

La respiración del suelo puede subir dramáticamente luego de precipitaciones. Este aumento de la respiración del suelo puede estar afectada por el largo tiempo durante el cual el suelo estuvo seco antes del evento pluvial, y puede retornar al estado antes de que inicie la lluvia poco antes de que termine. Es importante mencionar que un evento corto de precipitación puede estimular a los microorganismos del suelo o producir un decaimiento en el ritmo de la respiración. Y, un evento largo de precipitación puede promover el crecimiento de la biomasa causando un incremento de la respiración basal, si la lluvia continua por suficiente tiempo el oxígeno puede convertirse en un factor limitante que reduciría la respiración del suelo (Rochette, 1991; Lee *et al.*, 2004).

Las mediciones de respiración del suelo presentaron pulsos largos de emisiones de CO<sub>2</sub> en algunos eventos de lluvia, sin embargo es difícil controlar las variables que puedan afectar a la respiración del suelo en condiciones de campo por lo que se ensayó a nivel de laboratorio (Lee *et al.*, 2004). En el caso de un ecosistema semiárido donde el factor limitante es el agua. Después de un largo período de sequía, la llegada de las lluvias produce un incremento de la actividad microbiana,

creando picos de emisión de CO<sub>2</sub> por respiración del suelo (Mendiara, 2012; Curiel *et al*, 2003)

#### **e. Temperatura**

La respiración del suelo es muy susceptible a cambios medioambientales, como los cambios en la temperatura, así resultados de mediciones estacionales reportan un incremento de la tasa de respiración del suelo con el aumento de la temperatura. A partir de esta relación se espera que el calentamiento global estimule la respiración del suelo y disminuya el almacenaje en los ecosistemas (Luo y Zhou, 2006).

No obstante, Luo *et al.* (2001), realizó un experimento de calentamiento en pastos naturales, el cual reveló un fenómeno de aclimatación por el cual la susceptibilidad de la respiración del suelo al calentamiento decrece después de un periodo de exposición del ecosistema al calentamiento. Es por esto que los datos de periodos cortos pueden no captar características de largo plazo en la respuesta de la respiración al incremento de la temperatura. De estos y otros estudios, se puede poner en duda el supuesto de que en los modelos globales la liberación de carbono incrementará con el calentamiento global.

La rapidez de descomposición de los restos vegetales en la superficie del suelo se ve influenciada por cambios en la temperatura y humedad, lo cual repercute en la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por respiración heterotrófica (descomposición de la materia orgánica). Uno de los autores citados llega a la conclusión de que la máxima descomposición de la materia orgánica se produce en condiciones de temperatura moderada (alrededor de 30°C) y con un contenido de humedad del 60 al 80% de su capacidad máxima de retención de agua. El aumento o disminución de estas variables de manera simultánea, fuera de los niveles óptimos, produce una

disminución de la descomposición de la materia orgánica, lo que determina una reducción importante del CO<sub>2</sub> emitido desde el suelo (Brinson, 1977; Kononova, 1975).

**Analizador de gases infrarrojo EGM-4 y cámara de respiración SRC-1 (PP-SYSTEMS, HITCHIN, UK)**



**Figura 2.** EGM-4 – PP SYSTEMS, HITCHIN, UK.

El analizador de gases infrarrojo (IRGA) EGM-4 es un equipo portátil que puede usarse en laboratorio y campo. Es muy usado a nivel internacional por su bajo costo, sencillez y flexibilidad en zonas tropicales (Honorio y Baker, 2010; Pumpanen *et al.*, 2009).

El EGM-4 es usado junto a una cámara cerrada de respiración del suelo (SRC-1). La cámara es cilíndrica con dimensiones de 15 cm de alto por 10 cm de diámetro y viene equipada con un ventilador para mezclar el aire. El objetivo es tomar la muestra de aire aislando el proceso de respiración del componente de interés, para lo cual la cámara es colocada en una porción de volumen conocido, como un tubo de PVC de 10 cm de largo que se inserta en el suelo (Honorio y Baker, 2010; Oviedo, 2007).

IRGA es un haz de luz infrarroja que incide sobre una muestra de aire dentro de un recinto o IRGA bench. Como el dióxido de carbono tiene una banda de absorción muy fuerte en el infrarrojo, los IRGA emiten de forma importante en ese espectro de

onda. Dependiendo de dicha absorción, la radiación que llega a un sensor decrece y se puede conocer qué cantidad de moléculas de CO<sub>2</sub> existe en la muestra de aire (Oviedo, 2007).

Este sistema mide la tasa de acumulación de CO<sub>2</sub> en ppm dentro de la cámara, para luego estimar el flujo de CO<sub>2</sub> (Marthews *et al.*, 2012).

**Cuadro 2. Características de EGM-4 (PP-Systems, Hitchin, UK)**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Precisión	1%
Funcionamiento	Manual
Aproximación	Lineal o Cuadrática
Rango de Medidas de CO <sub>2</sub>	0 - 100 000 ppm
Tipo IRGA	Rayo infrarrojo no dispersivo
Longitud de onda IRGA	4,26 μm
Movimiento del aire	Ventilador
Instrumentación en la cámara	No
Instrumentación en IRGA bench	Barómetro
Rectificación por humedad	No

## VII. MARCO CONCEPTUAL

**Respiración Autótrofa:** se entiende como la capacidad de ciertos organismos de sintetizar sustancias nutritivas y esenciales para su metabolismo a partir de sustancias inorgánicas. Por esta razón, no requieren de otros seres vivos para su alimentación. (Parkin et al, 1996).

**Respiración Heterótrofo:** Son todos los seres vivos que requieren de otros para alimentarse, es decir, que no son capaces de producir su alimento dentro de su organismo si no que deben consumir elementos de la naturaleza ya constituidos como alimentos, ya sintetizados por otros organismos (Parkin et al, 1996).

**Cambio climático:** es un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. (IPCC 2013).

**Ciclo de carbono:** sostienen que el ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono (Honorio y Baker 2010).

**IRGA:** Es un analizador de gases infrarrojo (IRGA) y el EGM-4 es un equipo portátil que puede usarse en laboratorio y campo. Es muy usado a nivel internacional por su bajo costo, sencillez y flexibilidad en zonas tropicales (Honorio y Baker, 2010; Pumpanen *et al.*, 2009).

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. Lugar de ejecución

El estudio se desarrolló en el Centro de Investigaciones José López Parodi del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), ubicado en la villa Jenaro Herrera, en la margen derecha del río Ucayali a unos 200 km al sur de Iquitos. Políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Jenaro Herrera, provincia de Requena, departamento de Loreto (Figura 1 del anexo). Geográficamente, Jenaro Herrera se encuentra situado entre las coordenadas 73°45'W; 04° 55'S, con una elevación de 125 msnm (Freitas, 1996).

#### 8.1.1. Accesibilidad

El medio de transporte para llegar a Jenaro Herrera, es por vía fluvial, encontrándose a 12 horas en lancha desde la ciudad de Iquitos; 45 minutos de Requena y a 2 horas de Nauta en bote deslizador de 40 Hp. Al bosque de terraza alta, se llega caminando desde el Centro de Investigación López Parodi en aproximadamente 45 minutos. En cuanto al bosque de varillal alto húmedo, se ubica en el kilómetro 5 de la carretera Angamos (40 minutos aprox. de caminata) y de ahí se entra por el lado izquierdo de la carretera y se camina 20 minutos más hasta llegar al lugar. Finalmente, el bosque de restinga alta se ubica navegando por una cocha por un tiempo de 30 minutos y luego se continúa el viaje caminando durante 15 minutos.

#### 8.1.2. Clima

El clima es de tipo húmedo tropical, las temperaturas medias mensuales oscilan muy poco a lo largo del año (25,2°C en julio y 26,9°C en noviembre y marzo) con un promedio de 26,4°C. Las temperaturas absolutas más elevadas se registran de

enero a marzo y de agosto a octubre; las más bajas generalmente ocurren en julio. Abril es el mes que históricamente registra una mayor precipitación con 294,3 mm y julio la de menor llegando a 155,2 mm. El periodo más lluvioso comprende los meses de octubre y mayo (más de 200 mm mensuales), siendo, los más intensos entre enero y abril, el periodo menos lluvioso comprende de junio a setiembre (Gautier y Spichinger, 1986).

### **8.1.3. Fisiografía**

Según López Parodi y Freitas (1990), la región de Jenaro Herrera muestra dos paisajes distintos:

- La planicie aluvial fluvial, inundada estacionalmente durante el periodo de creciente del río Ucayali.
- La llanura interfluvial, o zona de altura ("tierra firme"), no influenciada por las variaciones estacionales del nivel de aguas del río principal.

### **8.1.4. Suelo**

Existen diferentes tipos de suelo en bosques aluviales de la amazonia peruana, y que son depósitos aluviales más antiguos aportados por los ríos en las inundaciones anuales. Los bosques de restinga se presentan en forma de terrazas, con fajas angostas, pequeñas y dispersas, en forma paralela al cauce de los ríos las cuales presenta textura variable, con diferentes grados de combinación de arena, limo y arcilla, los suelos en las restingas altas y bajas son Hydraquets. (Anderson, 1995).

IIAP (2000), refiriéndose a la misma zona de Jenaro Herrera, sostiene que la riqueza de estos suelos es debido a que pasan por una prolongada etapa de acumulación de sedimentos, que son originados por eventos tectónicos de etapas

terminales, aquellos que caracterizan a la región andina, pero que actúan con menor intensidad.

El estudio se desarrolló en parcelas permanentes de 1 ha de superficie ya establecidas por el IIAP, en tres tipos de bosque cuya caracterización de los suelos y la vegetación se explica a continuación.

El bosque de terraza alta, se ubica a unos 30 m sobre el máximo nivel de aguas del río Ucayali, al sureste del pueblo de Jenaro Herrera, presentan suelo naranjado (Abadie, 1976; Sabogal, 1980; Marmillod, 1982), "tipo franco arcilloso" y se caracteriza por ser fuertemente ácido, franco arenoso arcilloso a arcillo arenoso sin fragmentos gruesos y de color pardo oscuro a rojo-amarillo.

El bosque de varillal alto húmedo, en Jenaro Herrera se ubica sobre suelos con delgadas capas de humus negruzco, de 15- 20 cm, y una capa de arena grisácea de 50-80 cm, en cuyo fondo se halla compactación impermeable de óxido férrico (Hueck, 1978; Drosdoff *et al.*, 1978). De modo que después de las lluvias se torna fangosa.

El bosque de restinga alta, comprende las cimas de las ondulaciones casi paralelas a la tahuampas expuesta a la inundación en periodos de creciente irregular. El suelo es limoso por sedimentos desde las masas de agua blanca (Huber. 1906; Meade *et al.*, 1979; Encarnación *et al.*, 1989).

#### **8.1.5. Vegetación**

Los bosques de terraza alta, normalmente tiene una altura relativa sobre el río de más de 15 m y su drenaje es bueno; se puede dividir en bosque de vigor alto, medio y pobre según la altura del dosel superior y diámetro de las copas (Malleux 1971,1982).



El varillal, crece sobre bosques de arena blanca y se caracteriza por presentar una baja cantidad de especies y árboles con diámetro reducido, el sotobosque es bajo e irregularmente abierto. (Ruokolainen y Tuomisto, 1993). En Jenaro Herrera se hallan *Tavomita* sp., *Pithecellobium* sp. con troncos y raíces gigantes, *Iriartea exorhiza*, *Astrocaryum tucuma*, *Astrocaryum* sp. (Hueck, 1978; Drosdoff et al., 1978).

La restinga presenta drenaje y escorrentía irregular. Se halla adyacente a los ríos grandes y medianos, lagos, pungales y algunos yarinales y aguajales. La vegetación presenta biomasa alta con dominancia de arbustos, epifitos, entre otros con caracteres que indican mayor grado de madurez del bosque en la seriación desde los barriales y playas.

## **8.2. Materiales y equipos**

### **8.2.1. Materiales**

Bolsas plásticas, comba, cavadora, grava, grapas, cámara de llanta, masilla para calamina, malla fina, machete, regla metálica, resortes, suncho, tubos de PVC 4 “(10 cm de largo), tubos de PVC 4 “(40 cm de alto con ventanas de 3 cm x 3cm), tubos de PVC 4 “(40 cm de alto sin ventanas), útiles de escritorio y papelería en general.

### **8.2.2. Equipo de campo**

Analizador de Gases Infrarrojo EGM-4 (PP-System -Hitchin, UK), cámara sellada SCR-1 IRGA (PP-System -Hitchin, UK), software y cable de transferencia de datos (USB) RS232, batería externa (12 voltios, 7 amperios), clinómetro, termómetro digital y laptop (Hp).

### 8.3. Método

#### 8.3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es del tipo descriptivo y de nivel básico.

#### 8.3.2. Población y muestra

##### Población

La población de estudio estuvo conformada por todos los árboles con  $\geq 10$  cm de DAP del bosque de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga alta.

##### Muestra

La muestra estuvo representada por 25 árboles con  $\geq 10$  cm de DAP en cada parcela de 1 ha establecido por tipo de bosque y la porción del suelo muestreado para componentes (autótrofos y heterótrofos).

#### 8.3.3. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de la respiración autotrófica y heterotrófica en los tres tipos de bosque, se empleó la estadística descriptiva con la que se determinó los valores totales, promedios y el coeficiente de correlación de Pearson, el cual permitió conocer si existe asociación entre la respiración y la temperatura (figuras 3, 4 y 5).

5	6	15	16	21
4	7	14	17	22
3	8	13	18	23
2	9	12	19	24
1	10	11	20	25

**Figura 3.** Diseño de la parcela de 100 x 100 m<sup>2</sup> en el bosque de terraza alta

3		8		13		18		23	
2	4	7	9	12	14	17	19	22	24
1	5	6	10	11	15	16	20	21	25

**Figura 4.** Diseño de la parcela de 200 x 50 m<sup>2</sup> en el bosque de varillal alto

5	6	15	16	21
4	7	14	17	22
3	8	13	18	23
2	9	12	19	24
1	10	11	20	25

**Figura 5.** Diseño de la parcela de 100 x 100 m<sup>2</sup> en el bosque de restinga alta

### 8.3.4. Procedimiento

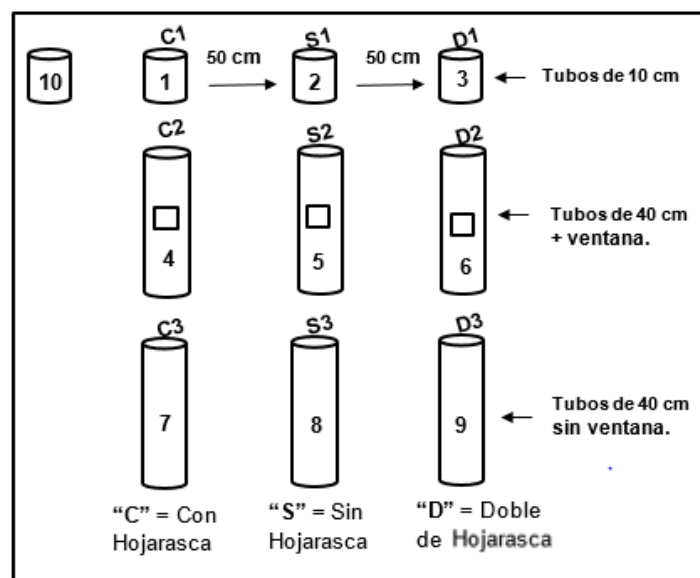
Para el desarrollo de la metodología se aplicó el siguiente procedimiento:

#### ❖ Instalación del experimento

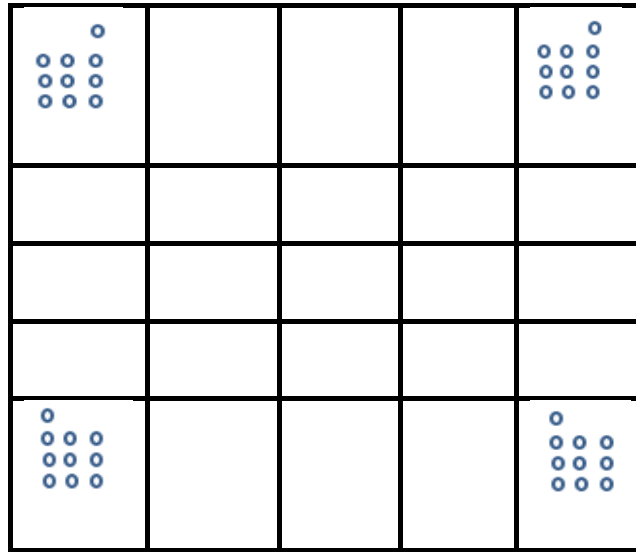
Se empleó un diseño que permitió medir la respiración del suelo, dentro de esto está la respiración autotrófica (raíz y fuste) y la respiración heterotrófica (micorriza, materia orgánica, capa mineral y hojarasca) de manera independiente.

#### ❖ Respiración de organismos autótrofa y heterótrofa

Se instalaron 4 grupos de 10 tubos en los vértices de cada parcela siguiendo los diseños mostrados en la figura 6 y 7.



**Figura 6.** Diseño de los tubos en las 3 filas y las 3 columnas



**Figura 7.** Tubos instalados en los vértices de cada parcela

El diseño del experimento nos da 3 filas y 3 columnas de tubo, más un tubo adicional. Los primeros 9 tubos están separados 50 cm entre ellos. Los tubos C1, S1 y D1 (fila 1) más el tubo adicional “10” tuvieron 10 cm de alto. Los tubos C2, S2 y D2 (fila 2), fueron de 40 cm de alto y tuvieron 4 ventanas de 3x3 cm, las cuales estuvieron cubiertas por una malla fina de nylon de 4 micrómetros. Y los tubos C3, S3 y D3 (fila 3) fueron tubos de 40 cm sin ventanas. Todos los tubos fueron insertados en el suelo, en la cual solo 5 cm del tubo quedó por encima del suelo. Los tubos de la primera fila y el adicional fueron instalados con ayuda de una comba y los tubos de la fila 2 y 3 fueron instalados en el suelo con ayuda de un cavador. Los tubos estuvieron rotulados con los códigos C, S y D que significan con hojarasca, sin hojarasca y doble de hojarasca. Lo que indica que en la columna 1 la hojarasca se mantuvo tal y cual fue encontrada. Mientras que en la columna 2 se retiró la hojarasca y se puso en los tubos de la columna 3, de esta manera en todos los tubos de la columna 2 se excluyó la hojarasca. Los tubos de la fila 1 tuvieron esas características porque se incluyeron todos los componentes del suelo. Antes

de la instalación en las filas 2 y 3 se procedió a extraer manualmente la raíz de donde se instalaron los tubos. En los tubos de la fila 2 se excluyeron las raíces, pero se incluyeron las micorrizas ya que estas pueden penetrar la malla puesta en las ventanas de estos tubos. Mientras que de la fila 3 se excluyeron las raíces y las micorrizas.



**Figura 8.** Tubos rotulados con los códigos C, S y D que significan “C” con hojarasca, “S” sin hojarasca y “D” doble de hojarasca

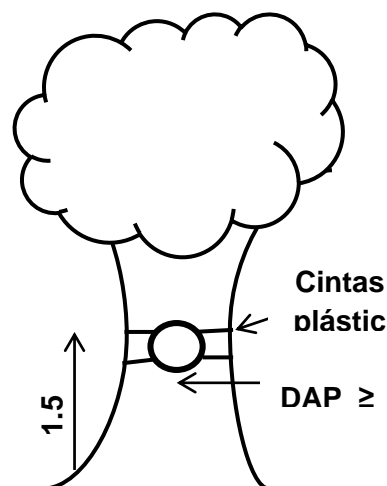
#### **8.3.4.1. Medición Inicial**

La medición inicial sirve para definir la variación inicial preexistente entre los puntos de muestreo. Antes de la instalación del experimento se procedió a realizar una medición inicial de la respiración de los componentes del suelo en los puntos seleccionados para instalar los 10 tubos del diseño. Para esto se colocó con ayuda de una comba, tubos de 10 cm de alto en los puntos seleccionados, de cada uno de los puntos se extrajo la hojarasca existente y se procedió a medir con el EGM-

4. Este instrumento permitió medir la tasa de respiración en un tiempo o área determinado.

Para la medición se insertó la cámara sellada en el tubo y dejamos que el EGM-4 registre los datos por un tiempo de 2 minutos, los datos fueron aumentando constantemente y en forma lineal. También se midió la temperatura ambiente, dentro y fuera del tubo con ayuda de un termómetro digital y posteriormente se midió la profundidad del tubo con una regla metálica. Finalmente después de realizar la medición inicial se procedió a instalar el experimento según el paso anterior.

### Respiración del fuste



**Figura 9.** Los tubos fueron instalados a partir de 1,5 m y fueron sellados con masillas

### ➤ Medición del fuste

Para la medición de la tasa de respiración del fuste se utilizó el EGM-4, además se midió la temperatura del ambiente y la profundidad. Asimismo, se tuvo cuidado de impedir que el tubo se desprege del árbol para evitar una entrada o salida de gases. Estas mediciones se realizaron mensualmente.

➤ **Medición de altura**

Se midió la altura del árbol con ayuda del clinómetro en cada sub parcela donde fue instalado el tubo, además se midió adicionalmente 15 árboles por clase diamétrica dentro de la parcela (figura 9).

- **Composición florística**

La identificación de las especies estuvo a cargo del Biólogo Ricardo Zárate, especialista en botánica del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, quien realizó la colecta de las muestras botánicas para su identificación en el Herbario Amazonense de la UNAP.

- **Determinación de la respiración autotrófica y heterotrófica**

El proceso de respiración tanto autótrofa como heterótrofa fue realizado directamente con el equipo Analizador de Gases Infrarrojo EGM-4 (PP-System - Hitchin, UK) y la Cámara sellada SCR-1 IRGA (PP-System -Hitchin, UK).

- **Comparación de la respiración de fuste a nivel de especie, género y familia botánica por tipo de bosque**

Se seleccionó un árbol por subparcela en los tres tipos de bosque, teniendo en cuenta que el DAP sea  $\geq 25$  cm y que el fuste sea en lo posible plano y que no tenga muchas irregularidades. En cada árbol se instaló un tubo de 7 cm de alto, el cual fue sujetado al árbol con cinta plástica o sunchos y se selló la base del tubo en el árbol con masilla para crear un sistema cerrado. Estos tubos fueron colocados a partir de 1,5 m de altura.

- **Determinar la relación entre la temperatura ambiente y la respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

Al realizar las mediciones de CO<sub>2</sub> tanto para la respiración autótrofa y heterótrofa, se procedió a realizar la medición de la temperatura ambiente tanto en los tubos instalados en el suelo como de los fustes, con la finalidad de verificar si a mayor temperatura era menor el CO<sub>2</sub> o viceversa, tal medición se realizó con un termómetro digital. Al terminar la evaluación se promedió la temperatura por cada mes evaluado y por cada tubo que sirvió para comprobar si la temperatura influyó en la respiración de CO<sub>2</sub>.

- **Determinación si existe asociación entre la respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

Para tal efecto se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson a un nivel de significancia de 0,05, el cual se realizó a través del software SPSS22.

#### **8.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos consistió en la evaluación mensual, para lo cual se utilizaron formatos de toma de datos de campo especialmente diseñados para el estudio. En estos formatos se tienen registrados los siguientes datos: medición inicial de la respiración de los componentes del suelo, tasa de respiración, temperatura del ambiente, profundidad del tubo, DAP, respiración del fuste, medición de la tasa de respiración del fuste, profundidad, altura del árbol e identificaron las especies.

#### **8.5. Técnica de presentación de resultados**

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se presentan en cuadros y figuras que servirán para una mejor interpretación de los resultados, para elaborar la discusión y formular las conclusiones y recomendaciones correspondientes.



## IX. RESULTADOS

### 9.1. Composición florística por tipo de bosque

#### 9.1.1. Bosque de terraza alta

En el cuadro 3, se presenta la composición florística del bosque de terraza alta a nivel de especie, género y familia; en la cual es posible verificar la presencia de 23 especies, 20 géneros y 14 familias, de un total de 25 árboles seleccionados.

**Cuadro 3.** Relación de especies, géneros y familias del bosque de terraza alta

N°	Especie	Género	Familia	Total
1	<i>Cariniana decandra</i>	Cariniana	Lecythidaceae	2
2	<i>Iryanthera tricornis</i>	Iryanthera	Myristicaceae	2
3	<i>Pouteria pubescens</i>	Pouteria	Sapotaceae	1
4	<i>Xylopia parviflora</i>	Xylopia	Annonaceae	1
5	<i>Mouriri nigra</i>	Mouriri	Melastomataceae	1
6	<i>Micropholis guyanensis</i>	Micropholis	Sapotaceae	1
7	<i>Cecropia membranacea</i>	Cecropia	Urticaceae	1
8	<i>Euplassa inaequalis</i>	Euplassa	Proteaceae	1
9	<i>Eschweilera tessmannii</i>	Eschweilera	Lecythidaceae	1
10	<i>Castilla ulei</i>	Castilla	Moraceae	1
11	<i>Qualea paraensis</i>	Qualea	Vochysiaceae	1
12	<i>Tapirira guianensis</i>	Tapirira	Anacardiaceae	1
13	<i>Tachigali schultesiana</i>	Tachigali	Fabaceae	1
14	<i>Hymenaea courbaril</i>	Hymenaea	Fabaceae	1
15	<i>Ruizterania trichanthera</i>	Ruizterania	Vochysiaceae	1
16	<i>Ocotea indet</i>	Ocotea	Lauraceae	1
17	<i>Erisma bicolor</i>	Erisma	Vochysiaceae	1
18	<i>Aptandra tubicina</i>	Aptandra	Olacaceae	1
19	<i>Eschweilera rodriguesiana</i>	Eschweilera	Lecythidaceae	1
20	<i>Couma macrocarpa</i>	Couma	Apocynaceae	1
21	<i>Micropholis casiquiarensis</i>	Micropholis	Sapotaceae	1
22	<i>Eschweilera chartaceifolia</i>	Eschweilera	Lecythidaceae	1
23	<i>Clarisia racemosa</i>	Clarisia	Moraceae	1

#### 9.1.2. Bosque de varillal alto húmedo

La composición florística del bosque de varillal alto húmedo se muestra en el cuadro 4, a nivel de especie, género y familia botánica; los cuales se agrupan en 19 especies, 16 géneros y 8 familias botánicas, de un total de 25 árboles evaluados.

**Cuadro 4.** Relación de especies, géneros y familias del bosque de varillal alto

<b>N°</b>	<b>Especie</b>	<b>Género</b>	<b>Familia</b>	<b>Total</b>
1	<i>Taralea oppositifolia</i>	Taralea	Fabaceae	4
2	<i>Hevea guianensis</i>	Hevea	Euphorbiaceae	2
3	<i>Macrolobium angustifolium</i>	Macrolobium	Fabaceae	2
4	<i>Tachigali loretensis</i>	Tachigali	Fabaceae	1
12	<i>Parahancornia peruviana</i>	Parahancornia	Apocynaceae	1
5	<i>Haploclathra cordata</i>	Haploclathra	Calophyllaceae	1
6	<i>Dicymbe uaiparuensis</i>	Dicymbe	Fabaceae	1
7	<i>Caraipa tereticaulis</i>	Caraipa	Calophyllaceae	1
8	<i>Mouriri nigra</i>	Mouriri	Melastomataceae	1
9	<i>Mucoa duckei</i>	Mucoa	Apocynaceae	1
10	<i>Emmotum floribundum</i>	Emmotum	Icacinaceae	1
11	<i>Pouteria oblanceolata</i>	Pouteria	Sapotaceae	1
13	<i>Micrandra spruceana</i>	Micrandra	Euphorbiaceae	1
14	<i>Licaria cannella</i>	Licaria	Lauraceae	1
15	<i>Macrolobium acaciifolium</i>	Macrolobium	Fabaceae	1
16	<i>Macrolobium urupaense</i>	Macrolobium	Fabaceae	1
17	<i>Tachigali melinonii</i>	Tachigali	Fabaceae	1
18	<i>Parkia ulei</i>	Parkia	Fabaceae	1
19	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	Chrysophyllum	Sapotaceae	1

### 9.1.3. Bosque de restinga baja

La composición florística del bosque de restinga baja se exhibe en el cuadro 5, a nivel de especie, género y familia botánica, donde se puede comprobar la existencia de 20 especies, 17 géneros y 11 familias botánicas; de un total de 25 árboles evaluados.

**Cuadro 5.** Relación de especies, géneros y familias del bosque de restinga alta

N°	Especie	Género	Familia	Total
1	<i>Sapium glandulosum</i>	Sapium	Euphorbiaceae	2
2	<i>Protium nodulosum</i>	Protium	Burseraceae	2
3	<i>Pouteria reticulata</i>	Pouteria	Sapotaceae	2
4	<i>Guarea macrophylla</i>	Guarea	Meliaceae	2
5	<i>Inga edulis</i>	Inga	Fabaceae	1
6	<i>Sarcaulus brasiliensis</i>	Sarcaulus	Sapotaceae	1
7	<i>Xylopia sp1</i>	Xylopia	Annonaceae	1
8	<i>Virola elongata</i>	Virola	Myristicaceae	1
9	<i>Inga stenoptera</i>	Inga	Fabaceae	1
10	<i>Apeiba aspera</i>	Apeiba	Malvaceae	1
11	<i>Pachira aquatica</i>	Pachira	Malvaceae	1
12	<i>Sapium sp</i>	Sapium	Euphorbiaceae	1
13	<i>Guatteria sp1</i>	Guatteria	Annonaceae	1
14	<i>Maquira coriácea</i>	Maquira	Moraceae	1
15	<i>Inga nobilis</i>	Inga	Fabaceae	1
16	<i>Licania britteniana</i>	Licania	Chrysobalanaceae	1
17	<i>Couroupita guianensis</i>	Couroupita	Lecythidaceae	1
18	<i>Drypetes amazonica</i>	Drypetes	Euphorbiaceae	1
19	<i>Platymiscium stipulare</i>	Platymiscium	Fabaceae	1
20	<i>Hirtella triandra</i>	Hirtella	Chrysobalanaceae	1

## 9.2. Respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque

La respiración del ecosistema se compone de la respiración de la cobertera foliar, del tejido leñoso y de las raíces de los árboles (respiración autotrófica).

### 9.2.1. Respiración autótrofa por tipo de bosque

En el cuadro 6, se presenta la respiración autótrofa de la raíz y fuste en parcelas permanentes en el bosque de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga baja. La respiración de la zona de la raíz, presenta el mayor valor el bosque de Varillal alto con un total de 4,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y menor valor reporta el bosque de terraza alta con 3,73 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Asimismo, la mayor respiración en el fuste obtuvo el bosque de varillal alto húmedo con 716,88 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y menor valor muestra el bosque de restinga alta con 647,29 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

**Cuadro 6.** Respiración autótrofa por tipo de bosque.

TA= Terraza alta; VA=Varillal alto húmedo; RA=Restinga alta

<b>Componentes de la respiración autótrofa ( tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>						
<b>Variables</b>	<b>TA</b>		<b>VA</b>		<b>RA</b>	
	<b>Raíz</b>	<b>Fuste</b>	<b>Raíz</b>	<b>Fuste</b>	<b>Raíz</b>	<b>Fuste</b>
<b>Total</b>	18,63	3404,97	23,30	3584,42	20,02	3236,46
<b>Promedio</b>	3,73	680,99	4,66	716,88	4,00	647,29

### 9.2.2. Respiración heterótrofa por tipo de bosque

La respiración heterotrófica por tipo de bosque se presenta en el cuadro 7, donde el bosque de varillal alto húmedo exhibe el más alto valor de la respiración por capa mineral con 166,18 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y menor valor muestra el bosque de restinga alta con 128,72 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Además, el bosque de varillal alto húmedo también es el que alcanzó el mayor valor de micorrizas (3,87 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), hojarasca (3,85 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y materia orgánica (7,81 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) respectivamente; mientras que menor valor de micorrizas (3,34 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y hojarasca (3,25 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) presenta el bosque de terraza alta y en cuanto a la materia orgánica lo constituye el bosque de restinga alta (7,62 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

### 9.3. Respiración del fuste a nivel de especie, género y familia

En el cuadro 8 se reporta la respiración total por tipo de bosque y componentes, donde es posible verificar que el bosque de varillal alto húmedo es el que muestra el más alto valor con 150,54 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y menor valor presenta el bosque de restinga alta con 132,49 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de un total de 626,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Del mismo modo, se puede aseverar que el componente fuste es el que ostenta el

mayor valor con 2045.17 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y menor valor revela la hojarasca con 10,60 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de un total de 2502, 89 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En el bosque de terraza alta, la especie *Cariniana decandra* presenta la mayor respiración en el fuste con 147,74 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; mientras que *Iryanthera tricornis* y *Pouteria pubescens* aportan con 123,38 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 87,60 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 10); mientras que en el bosque de varillal alto húmedo, *Taralea oppositifolia* muestra la mayor respiración en el fuste con 815,79 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido de *Hevea guianensis* y *Macrobium angustifolium* con 284,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 219,71 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 11) y finalmente, en el bosque de restinga alta (Figura 12), la especie *Inga edulis* alcanzó la mayor respiración en el fuste con 163,96 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, seguido de *Sapium glandulosum* con 88,46 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y *Protium nodulosum* con 78,11 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

**Cuadro 7.** Respiración heterótrofa por tipo de bosque

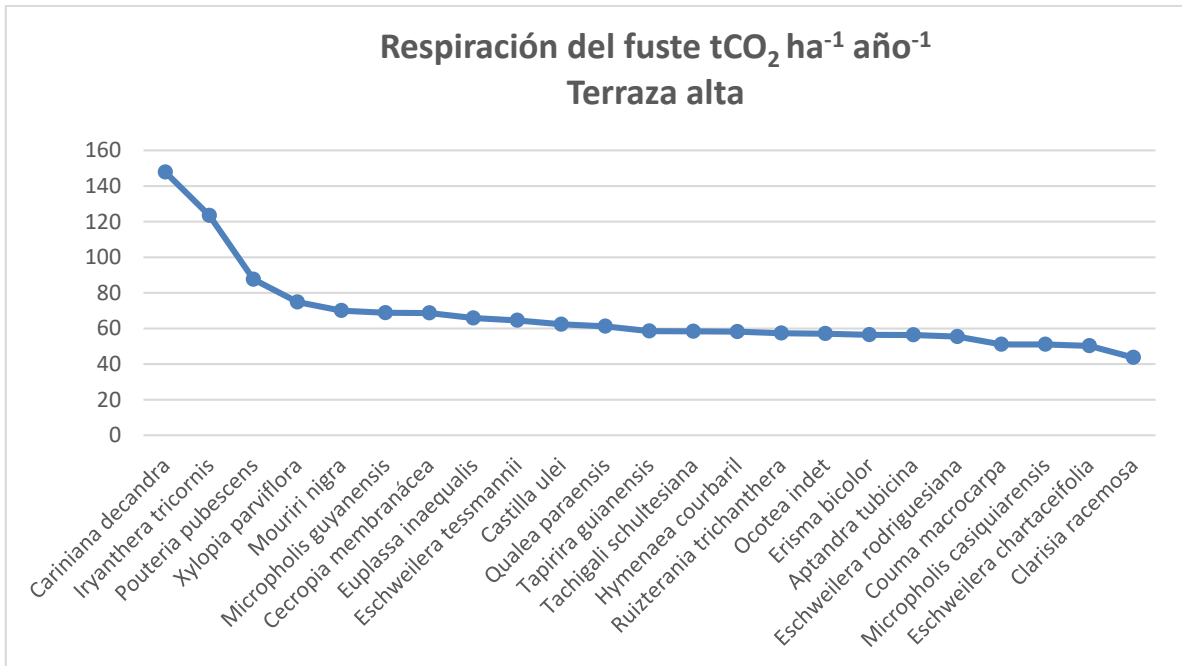
Variables	Respiración heterótrofa (tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )											
	TA				VA				RA			
	Micorriza	Capa mineral	Hojarasca	Materia Orgánica	Micorriza	Capa mineral	Hojarasca	Materia Orgánica	Micorriza	Capa mineral	Hojarasca	Materia Orgánica
<b>Total</b>	16,72	814,10	16,27	38,14	19,37	830,91	19,24	39,04	19,08	643,61	17,50	38,12
<b>Promedio</b>	3,34	162,82	3,25	7,63	3,87	166,18	3,85	7,81	3,82	128,72	3,50	7,62

TA= terraza alta; VA=Varillal alto húmedo; RA=Restinga alta

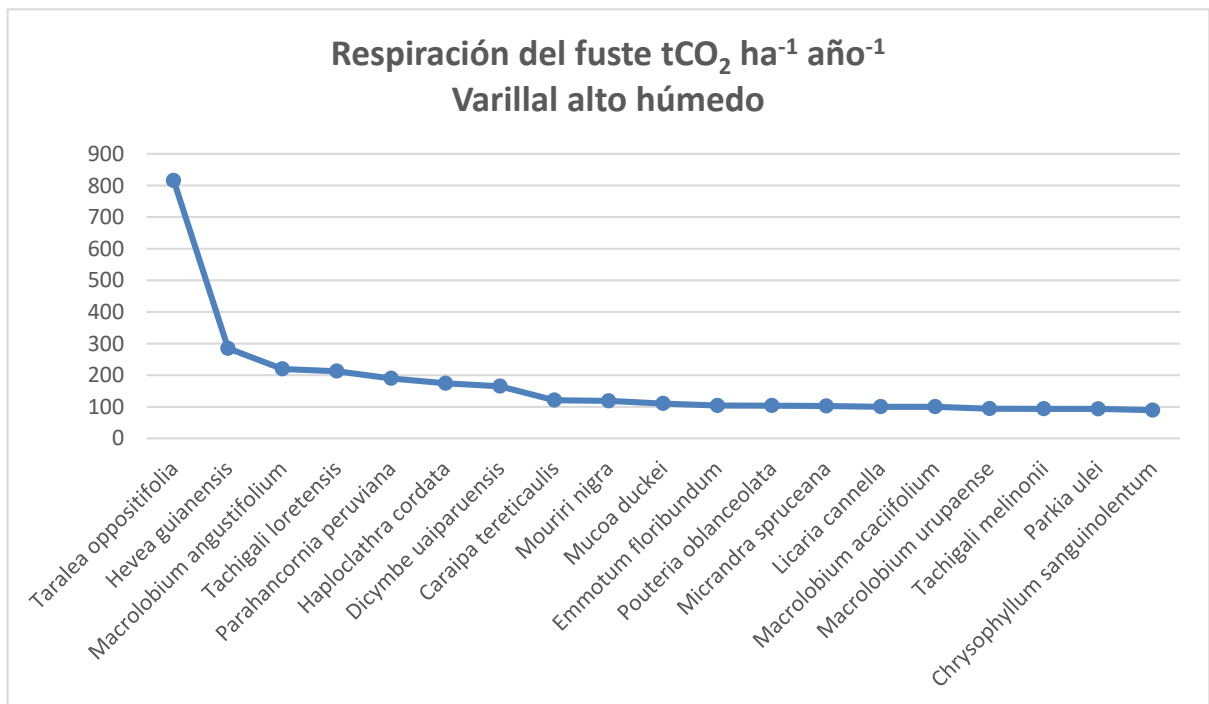
**Cuadro 8.** Respiración total por tipo de bosque y componentes

Componentes	Tipo de bosque			Total tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
	TA	VA	RA	
Fuste	680,99	716,88	647,29	2045,17
Raíz	3,73	4,66	4,00	12,39
Micorriza	3,34	3,87	3,82	11,04
Capa Mineral	162,82	166,18	128,72	457,72
Hojarasca	3,25	3,85	3,50	10,60
MO	7,63	7,81	7,62	23,06
<b>Promedio</b>	<b>143,63</b>	<b>150,54</b>	<b>132,49</b>	<b>426,66</b>

TA= terraza alta; VA=Varillal alto húmedo; RA=Restinga alta

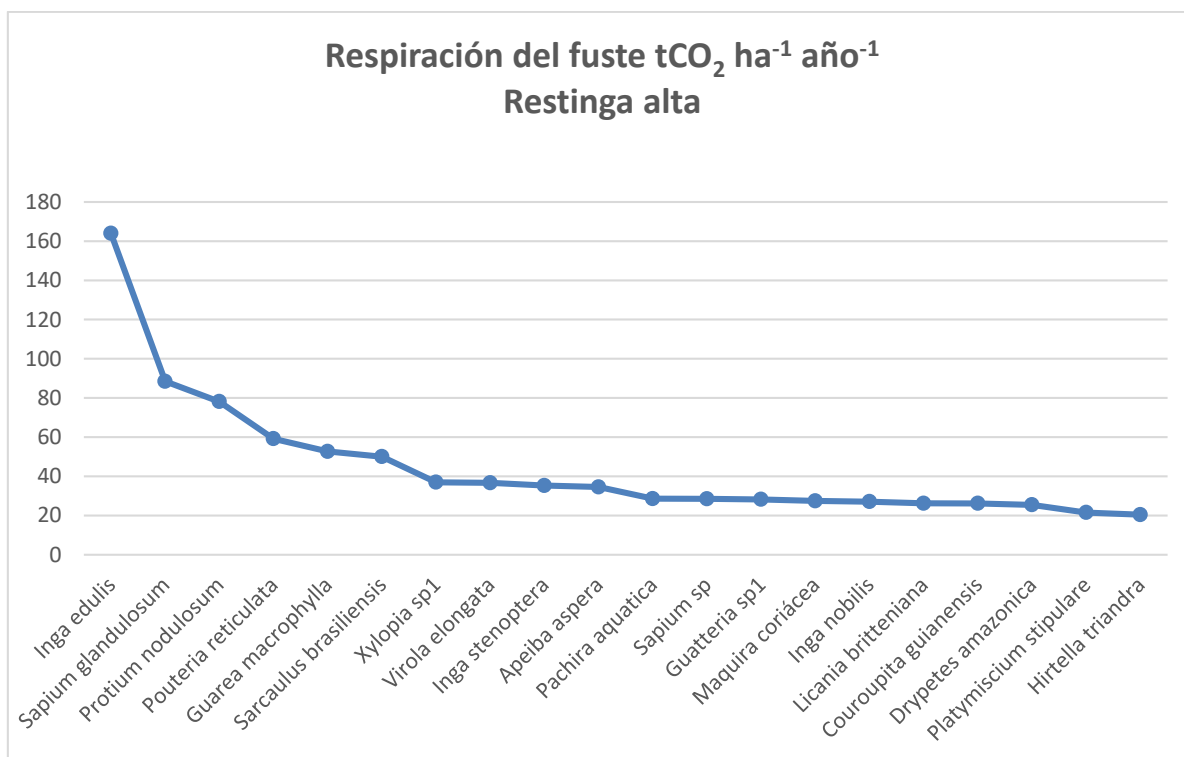


**Figura 10.** Respiración del fuste y área basal en el bosque de terraza alta



**Figura 11.** Respiración del fuste en el bosque de varillal alto húmedo





**Figura 12.** Respiración del fuste en el bosque de restinga alta

#### **9.4. Relación de la temperatura y la respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

En el cuadro 9 se muestra los valores de la respiración por componentes, tanto de la respiración autótrofa (fuste y raíces) como de la respiración heterótrofa (micorrizas, hojarasca, capa mineral y materia orgánica), así como los valores de la temperatura promedio ( $T^{\circ}$ ), en cada uno de los componentes. Además, se puede afirmar que el grado de asociación entre la respiración de cada componente y la temperatura promedio, muestran a la raíz, materia orgánica y micorrizas con una alta asociación inversa con un  $r = -0,99$ ,  $-0,98$  y  $-0,97$  respectivamente, lo que indica que a menor temperatura existe mayor liberación de  $CO^2$  en estos componentes; mientras que la capa mineral ( $r=-0,09$ ) presenta muy baja asociación inversa.

**Cuadro 9.** Relación entre la temperatura ambiente y respiración por componentes

Tipo de Bosque	Fuste		Raíz		Micorrizas		hojarasca		Capa mineral		Materia orgánica	
	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )	(C°)	Respiración (tCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> /año <sup>-1</sup> )
<b>TA</b>	25,20	680,99	25,77	3,73	25,87	3,34	25,77	162,82	24,67	3,25	25,77	7,63
<b>VAH</b>	25,20	716,88	25,32	4,66	25,60	3,87	25,32	166,18	24,67	3,85	25,32	7,81
<b>RA</b>	26,60	647,29	25,69	4,00	25,69	3,82	25,69	128,72	25,60	3,50	25,69	7,62
<b>R</b>	<b>-0.86</b>		<b>-0.99</b>		<b>-0.97</b>		<b>-0.42</b>		<b>-0.09</b>		<b>-0.98</b>	

TA= terraza alta; VA=Varillal alto húmedo; RA=Restinga alta

Respiración = tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

R= Coeficiente de correlación

### 9.5. Asociación de la respiración autótrofa y heterótrofa

El análisis de correlación de la respiración autótrofa y heterótrofa se presenta en el cuadro 10, donde se puede verificar que la respiración del fuste presenta una fuerte asociación con la respiración de la capa mineral ( $r=0,997$ ,  $p<0,05$ ); mientras que la respiración de la raíz muestra menor asociación con la respiración de la hojarasca ( $r=0,770$ ,  $p>0,05$ ). Asimismo, se observa una alta correlación entre los demás componentes, sin embargo estadísticamente no son significativos debido a que presenta un  $p>0,05$ .

**Cuadro 10.** Correlación de componentes de la respiración autótrofa y heterótrofa

Respiración Autótrofa	Respiración Heterótrofa				
	Variables	Micorriza	Capa mineral	Hojarasca	Materia orgánica
Raíz	Correlación de Pearson	.951	.946	.770	.812
	p (0.05)	.201	.211	.441	.397
Fuste	Correlación de Pearson	.996	.997*	.959	.976
	p (0.05)	.057	.047	.183	.139

## **X. DISCUSIÓN**

### **10.1. Composición florística del área de estudio**

La estructura y composición de los bosques se ve afectada por la ocurrencia de disturbios de origen natural o antropogénico. La ocurrencia de disturbios frecuentes determina el predominio de especies colonizadoras, mientras que en áreas más estables el dosel del bosque está dominado por especies tolerantes a la sombra (Leiva, 2001; Pinazo *et al.*, 2003). En los cuadros 3, 4 y 5 se presenta la composición florística del bosque de terraza alta, varillal alto húmedo y restinga baja a nivel de especie, género y familia botánica, donde se puede comprobar que el bosque de terraza alta muestra el más alto número de especies (23), género (20) y familia (14) con respecto al bosque de varillal alto húmedo que reporta 19 especies, 16 géneros y 8 familias y finalmente el bosque de restinga baja con 20 especies, 17 géneros y 11 familias de un total de 25 árboles evaluados por cada tipo de bosque del área de estudio. Reynafarje (2014), reporta un total de 21 especies, 30 familias y 84 géneros para árboles con DAP  $\geq 10$  cm en 18 parcelas evaluadas. Estos resultados difieren al ser confrontados con los obtenidos en el presente estudio.

### **10.2. Respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

La respiración total del ecosistema está compuesta por la respiración de la cobertura foliar, del leño y la respiración autotrófica de las raíces de los árboles así como de la respiración heterotrófica de los microorganismos del suelo. Es decir, la suma de la respiración autotrófica y heterotrófica del suelo nos proporciona la respiración total del suelo (Oviedo, 2007). La respiración autótrofa de la raíz y el fuste se muestra en el cuadro 6 por tipo de bosque, donde es posible contrastar que la respiración de la zona

de la raíz, presenta el mayor valor el bosque de Varillal alto húmedo con un total de 4,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que representa el 37,79%, le sigue en importancia el bosque de restinga alta con 4,00 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que constituye el 32,28% y finalmente el bosque de terraza alta con 3,73 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que asciende al 30,10%. También cabe indicar que el bosque de varillal húmedo alcanzó la mayor respiración del fuste con 716,88 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (35,05%), con respecto al bosque al bosque de terraza alta con 680,99 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (33,29%) y el bosque de restinga alta con 647,29 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (31,65%). La mayor respiración obtenida por las raíces y el fuste en el bosque de varillal alto húmedo, posiblemente se debe a la presencia de mayor cantidad de raíces en la parte superficial del suelo con respecto a los demás bosques de estudio, ya que fue difícil la instalación de los tubos por la cantidad de raíces presentes sobre el suelo, razón por la cual los resultados de CO<sub>2</sub> fueron elevados. Ramírez y Moreno (2008), utilizaron en un trabajo de investigación 10 parcelas permanentes (5 en bosques primarios – BP y 5 en bosques secundarios –BS) con el objetivo de estimar la tasa de respiración del suelo y sus componentes (respiración de raíces y de microorganismos), en la cual señalan que la tasa promedio anual de respiración fue 15,91 (0,71) tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en BP y 14,03 (0,75) tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en BS, respectivamente. Estos resultados varían al ser confrontados con los registrados en el presente estudio.

En el cuadro 7 se presenta los resultados de la respiración heterotrófica por tipo de bosque, donde se explica que el más alto valor de la respiración por capa mineral exhibe el bosque de varillal alto húmedo con 166,18 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> que representa el 36,31%; continúa el bosque de terraza alta con 162,82 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> que constituye el 35,57% y finalmente el bosque de restinga alta con 128,72 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> que

representa el 28,12% del total. También, se puede precisar que el bosque de varillal alto húmedo reporta el más alto valor con respecto a las micorrizas con  $3,87 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (35,09%), hojarasca con  $3,85 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (36,32%) y materia orgánica con  $7,81 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (33,87%); por el contrario el valor más bajo de micorrizas y hojarasca lo constituye el bosque de terraza alta con  $3,34 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  que representa el 30,28% y hojarasca con  $3,25 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  que constituye el 30,66% respectivamente; mientras que en cuanto se refiere a la materia orgánica está representada por el bosque de restinga alta con  $7,62 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (33,04%). La mayor cantidad de La mayor cantidad de respiración por capa mineral que presenta el bosque de varillal con respecto a los demás componentes del suelo, se debe probablemente por la gran cantidad de raíces microbianas presentes en este suelo.

Chambers *et al.* (2004), manifiestan sobre la respiración de un ecosistema forestal tropical que se llevó a cabo en una de las reservas del INPA, Manaus; donde utilizaron un analizador de gases infrarrojo (IRGA, LI 6252 con una unidad de control de flujo LI-670), demuestran que había una variación considerable en la respiración del tejido arbóreo con relación a la unidad de superficie del tallo, con variación de más de dos órdenes de magnitud de  $0,027$  a  $3,64 \mu\text{molJm}^{-2} \text{ (tallo)-s}^{-1}$  ( $n = 391$  medidas). Esta variación no era simplemente debido a diferencias entre especies, ya que dentro de las mismas especies la variación también es completamente alta. Por su parte Ramírez y Moreno (2008), en un estudio realizado en un bosque primario en Porce (Colombia) entre Setiembre del 2005 al 2006, reportan un total de  $58,35 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; mientras que Porlles (2011), reporta para un bosque de terraza alta y un bosque de varillal en la localidad de Jenaro Herrera-Perú un total de  $14,62$  y  $13,04 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ,

respectivamente. En cuanto a la biomasa aérea, Vegas (2016) en un estudio de secuestro de carbono en la biomasa aérea de cinco especies comerciales de un bosque de colina baja en una parcela de corta anual de la cuenca del río Napo reporta un total de 602,93 tC/ha. La especie *Cedrelinga cateniformis* con 291,51 tC/ha es la que presenta la mayor cantidad de almacenamiento de carbono en el bosque de colina baja, seguidas de las especies *Virola sp.* (213,88 tC/ha), *Simarouba amara* (58,78 t/ha), *Aniba sp.* (27,60 tC/ha) y *Cedrela odorata* (11,16 tC/ha). Estos resultados difieren a lo reportado en el presente estudio, principalmente en terraza alta y varillal alto que reportan 680,99 y 716,88 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sin embargo se aproxima a los valores obtenidos en restinga alta con 647,29 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estas diferencias pueden deberse al método de trabajo practicado en ambos estudios, mientras que Vegas utilizó el modelo matemático propuesto por el IPCC (2007), en el presente estudio se utilizó el EGM que es un medidor de gas infrarrojo que proporciona el valor del carbono de forma directa.

### **10.3. Comparación de la respiración del fuste a nivel de especies, género y familia por tipo de bosque**

La respiración total por tipo de bosque se presenta en el cuadro 8, en la cual es posible aseverar que el bosque de varillal alto húmedo con 150,54 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (35,28%), es la que reporta el más alto valor, continúa el bosque de terraza alta con 143,63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (33,66%) y finalmente le corresponde al bosque de restinga alta con 132,49 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (31,05%), de un total de 626,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Además, se puede precisar que el mayor valor en cuanto al componente fuste también le corresponde al bosque de varillal alto húmedo con 716,88 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que representa el 35,05%

de un total de 2045,17 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; mientras que menor valor muestra el bosque de restinga alta con 647,29 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que constituye el 31,65% del total. Por el contrario el componente hojarasca ostenta el menor valor con 3,85 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> el bosque de varillal alto húmedo, 3,50 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> le concierne al bosque de restinga alta y 3,25 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> le compete al bosque de terraza alta.

La especie *Cariniana decandra* (147,74 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) del bosque de terraza alta (Figura 10), muestra la más alta respiración del fuste; continúan en importancia las especies *Iryanthera tricornis* y *Pouteria pubescens* (123,38 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 87,60 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) respectivamente. Con respecto al área basal *Hymenaea courbaril* obtuvo el más alto valor (0,39 m<sup>2</sup>/ha), le sigue en importancia *Eschweilera rodriguesiana* (0,33 m<sup>2</sup>/ha) y *Clarisia racemosa* (0,27 m<sup>2</sup>/ha). Asimismo, *Taralea oppositifolia* (815,79 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), *Hevea guianensis* (284,66 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y *Macrobium angustifolium* (219,71 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) del bosque de varillal alto húmedo son las especies que reportan la más alta respiración del fuste. Además, *Macrobium urupaense* (0,16 m<sup>2</sup>/ha) es la especie que alcanzó la mayor área basal (Figura 11). Del mismo modo, la especie *Inga edulis* (163,96 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) del bosque de restinga alta reporta la más alta respiración del fuste, continúan *Sapium glandulosum* (88,46 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y *Protium nodulosum* (78,11 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Además, *Couroupita guianensis* (0,48 m<sup>2</sup>/ha) muestra la más alta área basal de este bosque (Figura 12).

#### **10.4. Relación entre la temperatura ambiente y la respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

La relación entre la temperatura ambiente y la respiración por componentes se presenta en el cuadro 9, donde el grado de asociación entre la respiración de cada



componente y la temperatura promedio, reportan a la raíz ( $r = -0,99$ ), materia orgánica ( $r = -0,98$ ) y micorrizas ( $r = -0,97$ ) con alta asociación inversa entre las variables evaluadas, le siguen en importancia el fuste con  $r = -0,86$ , la hojarasca con  $r = -0,42$  y finalmente la capa mineral con  $r = -0,09$ ; lo que demuestra que a menor temperatura existe mayor liberación de  $\text{CO}_2$ . Además, se puede observar que en el componente mineral la temperatura fue menor con  $24,67\text{ }^\circ\text{C}$  tanto para el bosque de terraza alta y varillal alto húmedo; mientras que el componente fuste muestra la mayor temperatura con  $26,60\text{ }^\circ\text{C}$  en el bosque de restinga alta.

#### **10.5. Determinar si existe asociación entre la respiración autótrofa y heterótrofa por tipo de bosque**

En el cuadro 10 se reporta el análisis de correlación entre la respiración autótrofa y heterótrofa, donde se puede comprobar que la respiración autótrofa del fuste presenta mejor asociación con la respiración heterotrófica con valores de  $r = 0,997$  para la capa mineral,  $r = 0,976$  para la materia orgánica,  $r = 0,996$  para la micorriza y  $r = 0,959$  para la hojarasca; mientras que la asociación con respecto a la raíz muestra a micorriza con  $r = 0,951$ , capa mineral con  $r = 0,946$ , materia orgánica con  $r = 0,812$  y finalmente el valor más bajo expone la hojarasca con  $r = 0,770$  respectivamente.

## XI. CONCLUSIONES

1. La composición florística del bosque de terraza alta presenta el más alto número de especies (23), géneros (20) y 14 familias (14) y menor valor reporta el bosque de varillal alto húmedo con 19 especies, 16 géneros y 8 familias botánicas.
2. La respiración autótrofa de la zona de la raíz, presenta mayor valor el bosque de Varillal alto con  $4,66 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y menor valor reporta el bosque de terraza alta con  $3,73 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Además, la mayor respiración autótrofa del fuste muestra el bosque de varillal alto húmedo con  $716,88 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y menor valor alcanzo el bosque de restinga alta con  $647,29 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
3. La respiración heterótrofa muestra al bosque de varillal alto húmedo con el más alto valor en la capa mineral con  $166,18 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y menor valor exhibe el bosque de restinga alta con  $128,72 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Además, el bosque de varillal alto húmedo también es el que alcanzó el mayor valor de micorrizas ( $3,87 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), hojarasca ( $3,85 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y materia orgánica ( $7,81 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).
4. La respiración total por componentes presenta al bosque de varillal alto húmedo con el más alto valor ( $150,54 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y menor valor presenta el bosque de restinga alta ( $132,49 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Asimismo, el componente fuste es el que obtuvo el mayor valor con  $2045,17 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y menor valor ostenta la hojarasca con  $10,60 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
5. El grado de asociación entre la respiración de cada componente y la temperatura promedio, muestran a la raíz, materia orgánica y micorrizas con una alta

asociación inversa con  $r = -0,99$ ,  $-0,98$  y  $-0,97$  respectivamente, lo que indica que a menor temperatura existe mayor liberación de  $\text{CO}_2$ ; mientras que la capa mineral ( $r = -0,09$ ) presenta muy baja asociación inversa.

6. La respiración del fuste presenta una fuerte asociación con la respiración de la capa mineral ( $r = 0,997$ ,  $p < 0,05$ ); mientras que la respiración de la raíz muestra menor asociación con la respiración de la hojarasca ( $r = 0,770$ ,  $p > 0,05$ ).
7. Se acepta la hipótesis alterna en el sentido de que existe diferencia entre la respiración autótrofa y heterótrofa, además la temperatura está relacionada a la respiración autótrofa y heterótrofa y la respiración autótrofa del fuste difiere entre familias botánicas por tipo de bosque.

## **XII. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar con más detalle la respiración del suelo por componentes ya que permite determinar de manera consistente la influencia de la respiración heterotrófica y autotrófica en la respiración total del suelo.
2. Se sugiere realizar investigaciones en bosques similares y en otros tipos de Bosques para realizar comparaciones con los resultados obtenidos en el presente estudio.
3. Evaluar otras variables que influyen en la respiración del suelo como la Humedad, la precipitación y la temperatura ambiental.
4. Realizar investigaciones similares en otras especies forestales maderables y no maderables de la amazonia peruana.
5. Realizar la toma de datos con mucha paciencia y respetando las fechas señaladas para realizar el procesamiento y análisis de forma adecuada.

### XIII. BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, M., PAVELKA, M., POKORNÝ, R., JANOUŠ, D., MAREK, M.V., 2008. Seasonal variation in CO<sub>2</sub> efflux of stems and branches of Norway spruce trees. *Ann. Bot.* 101,469–477.

ALVÁN, LESLIE E. 2011. Caracterización de la Producción Primaria en Selva Baja: Caso Carretera Iquitos-Nauta. GRADO DE MAGÍSTER EN ECOLOGÍA APLICADA. LIMA – PERÚ.

ALMAGRO, M., LOPEZ, J., QUEREJETA, J.I., MARTINEZ-MENA, M. 2009. Temperature dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 41: 594–605.

BOLSTAD, P.V., DAVIS, K.J., MARTIN, J., COOK, B.D., WANG, W., 2004. Component and whole-system respiration fluxes in northern deciduous forests. *Tree Physiol.* 24, 493–504.

BOONE, R., K. NADELHOFFER, J. CANARY AND J. KAYE. 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature.* 396(6711):570-572.

BROWN S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy: 55 p.

CALDERÓN, M., ROMERO-SALTOS, H., CUESTA, F., PINTO, E., BÁEZ, S. 2013. Monitoreo de contenidos y flujos de carbono en gradientes altitudinales. Protocolo 1 - Versión 1. CONDESAN/COSUDE: Quito, Ecuador.

CHAMBERS, J.; TRIBUZY, E.; TOLEDO, L.; CRISPIM, B.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; ARAÚJO, A.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.; Y TRUMBORE, S. 2004. La

respiración de un ecosistema forestal tropical: La partición de las fuentes y eficiencia del bajo uso del carbono. *Aplicaciones Ecológicas*. Vol. 14(4):72-88.

CHIMNER, R. A. 2004. Valores en la respiración del suelo en una turbera tropical en Micronesia y Hawái. *Humedales*. Vol. 24 (01):51-56.

Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones (CINU). 1992. Rio de Janeiro. Brasil.

DAMESIN, C., CESCHIA, E., LE GOFF, N., OTTORINI, J.-M., DUFRÊNE, E., 2002. Stem and branch respiration of beech: from tree measurements to estimations at the stand level. *New Phytol.* 153, 159–172.

DÍAZ-PINÉS LÓPEZ DE LOS MOZOS, EUGENIO, GODINO OJER, MARINA., SCHINDLBACHER, ANDREAS., KITZLER, BARBARA., PFEFFER, MICHAEL., JANDL, ROBERT y RUBIO SÁNCHEZ, AGUSTÍN. 2009. Emisión de gases de efecto invernadero y biomasa microbiana edáfica en el suelo de un ecotono *Pinus sylvestris* - *Quercus pyrenaica* del Sistema Central. 5º Congreso forestal español.

DROSDOFF, M.; R. DANIELS y J. NICHOLAIDES. 1978. Diversity of soil of the tropics. *Amer. Sac. Agron. Spec. Publ.* 34:1-119.

Edwards NT, Shugart HH Jr, McLaughlin SB et al. (1981) Carbon metabolism in terrestrial ecosystems. In: *Dynamic Properties of Forest Ecosystems* (ed. Reichle DE), pp. 499–536. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

ENCARNACIÓN. F. 1982. Clave tentativa para la diferenciación de las principales formaciones vegetales primarias o climax: un enfoque preliminar en Jenaro Herrera. Río Ucayali. Iquitos. COTESU-IIAP. Seminario sobre la Investigación y Desarrollo en la Amazonia Peruana.

ENCARNACIÓN, F.; R. AQUINO y J. MORO. 1989. "Flora y vegetación de las islas IQUITOS y Padre Isla (Loreto, Perú): su relación con el manejo semiextensivo de *Saguinus mystax*, *Saimiri sciureus* y *Aotus* sp. En: La primatología en Latinoamérica C. SAAVEDRA, et al. (eds). 195-202

GAUTIER, L y SPICHINGER, R. 1986. Ritmos de reproducción en el estrato arbóreo del Arboretum Jenaro Herrera (Provincia de Requena, departamento de Loreto, Perú). Contribución al estudio de la flora y de la vegetación de la Amazonia peruana. Conservatorio y jardín botánico de Ginebra, Organización Suiza para el desarrollo y la cooperación, Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. 16 p.

GAUMONT-GUAY, D., BLACK, T.A., GRIFFIS, T.J., BARR, A.G., MORGENSTERN, K., JASSAL, R.S., NESIC, Z., 2006. Influence of temperature and drought on seasonal and interannual variations of soil, bole and ecosystem respiration in a boreal aspen stand. *Agric. For. Meteorol.* 140, 203–219.

GIORGI, F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33, L08707, <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL025734>.

GUIDOLOTTI, G., REY, A., D'ANDREA, E., MATTEUCCI, G., DE ANGELIS, P., 2013. Effect of environmental variables and stand structure on ecosystem respiration components in a Mediterranean beech forest. *Tree Physiol.* 33, 960–972.

HONORIO C. E. y BAKER, T. R. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54 p.

HONORIO, E. 2006. Floristic relationships of the tree flora of Jenaro Herrera, an unusual area of the Peruvian Amazon. M.Sc. thesis. University of Edinburgh, Royal Botanic Garden Edinburgh, UK. 104 p.

HUBER, J. 1906. "La vegetación de la vallée du rio purus (amazona)". Bulletin du Herbar Boissier 2me. Sér: 4(4):249-276.

HUECK, K.1978. Los bosques de sudamérica. Ecología, composición e importancia económica. (Lima). Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Trad. del alemán.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change, the physical Science Basis.

Janssens, I. A., H. Lankreijer, et al. 2001. "Productivity Overshadows Temperature In Determining Soil And Ecosystem Respiration Across European Forests." Global Change Biology 7: 269 - 278.

KELLMAN, L.; BELTRAMI, H.; RISK, R. 2007. Cambios en la respiración del suelo estacional con conversión del pasto a bosque en Canadá Atlántico. Biogeoquímica (82 K.E. PERCY, R. JANDL, J.P. HALL y M. LAVIGNE. 2003. El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. IUFRO: red internacional de científicos forestales no gubernamental Boletín N°1.

LEIVA, J. 2001. Comparación de las estrategias de regeneración natural entre los bosques primarios y secundarios en las zonas bajas del atlántico costarricense. Tesis de bachiller en ingeniería forestal. Cartago, Costa Rica, ITCR. 102 p.

METCALFE, D.; MEIR P.; ARAGAO L.; MALHI Y.; DA COSTA A.; BRAGA A.; GONZALES P., DE ATHAYDES J., ALMEIDA S., WILLIAMS M. 2007. Factors



controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the Eastern Amazon. Brazil. *Journal of Geophysical*. Vol. 112.

PINAZO, M. A., N. I. GASPARRI, J. F. GOYA y M. F. ARTURO. 2003. Caracterización estructural de un bosque de *Podocarpus parlatorei* y *Juglans australis* en Salta, Argentina. Laboratorio de investigaciones en sistemas ecológicos y ambientales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. *Rev. Biol. Trop.* 51(2): 361-368. 8 p.

RAICH, J.W. y POTTER, C.S. 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soil respiration. *Global Biochemistry*. Cy. 9: 23-36.

RAICH, J. y SCHLESINGER, W. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. USA. 44B. 81-99p.

RAMÍREZ. A y MORENO H.F. 2008. Respiración Microbial y de raíces en Suelos de Bosques Tropicales Primarios Y Secundarios (PORCE, COLOMBIA). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 61(1):4381-4393. 2008

Reynafarje, C. A. 2014. Relación entre la estructura diamétrica y la abundancia, en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Loreto-Perú. 98 p.

RUOKOLAINEN, K.&H. TUOMISTO. 1993. La vegetación de los terrenos no inundables (tierra firme) en la selva baja de la amazonía peruana. En: R. Kalliola, R. Puhakka & W. Danjoy (eds), *Amazonía Peruana*. Pp. 103–112.

- SAUGIER B. Y PONTAILLER J.Y. 2006. El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia*, Vol. 41(3): 71-85.
- SMITH, N.G., DUKES, J.S., 2013. Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO<sub>2</sub>. *Global Change Biol.* 19, 45–63.
- PARKIN, T.B., DORAN, J.W. y E. FRANCO-VIZCAINO. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. P. 231-246. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- OVIEDO B. L M. 2007. Medición de la Respiración del suelo en ecosistemas mediterráneos con sistemas de cámaras y analizadores tipo IRGA. Tesis: Mag. Sc. Geofísica y meteorología. Universidad de Granada. España. 32 p.
- ODUM, E. 1986. *Fundamentos de Ecología*. USA. Universidad de Georgia. Cap. 4, 130 p.
- TANG, J., BOLSTAD, P.V., DESAI, A.K., MARTIN, J.G., COOK, B.D., DAVIS, K.J., CAREY, E.V., 2008. Ecosystem respiration and its components in an old-growth forest in the Great Lakes region of the United States. *Agric. For. Meteorol.* 148, 171–185.
- VOLKA, T. 1994. The soil is breath. *Natural history* November/ 94.
- WANG, M., GUAN, D.-X., HAN, S.-J., WU, J.-L., 2010. Comparison of eddy covariance and chamber-based methods for measuring CO<sub>2</sub> flux in a temperate mixed forest. *Tree Physiol.* 30, 149–163.

XU, M. y QI, Y. 2001. Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Glob. Change Biol.* 7:667–677.

XU, M., DEBIASE, T.A., QI, Y., GOLDSTEIN, A., LIU, Z., 2001. Ecosystem respiration in a Young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada mountains, California. *Tree Physiol.* 21, 309–318.

ZHA, T., KELLOMÄki, S., Wang, K.-Y., RYYPPÖ, A., NIINISTO, S., 2004. Seasonal and annual stem respiration of Scots pine trees under boreal conditions. *Ann. Bot.* 94,889–896.

## **ANEXOS**

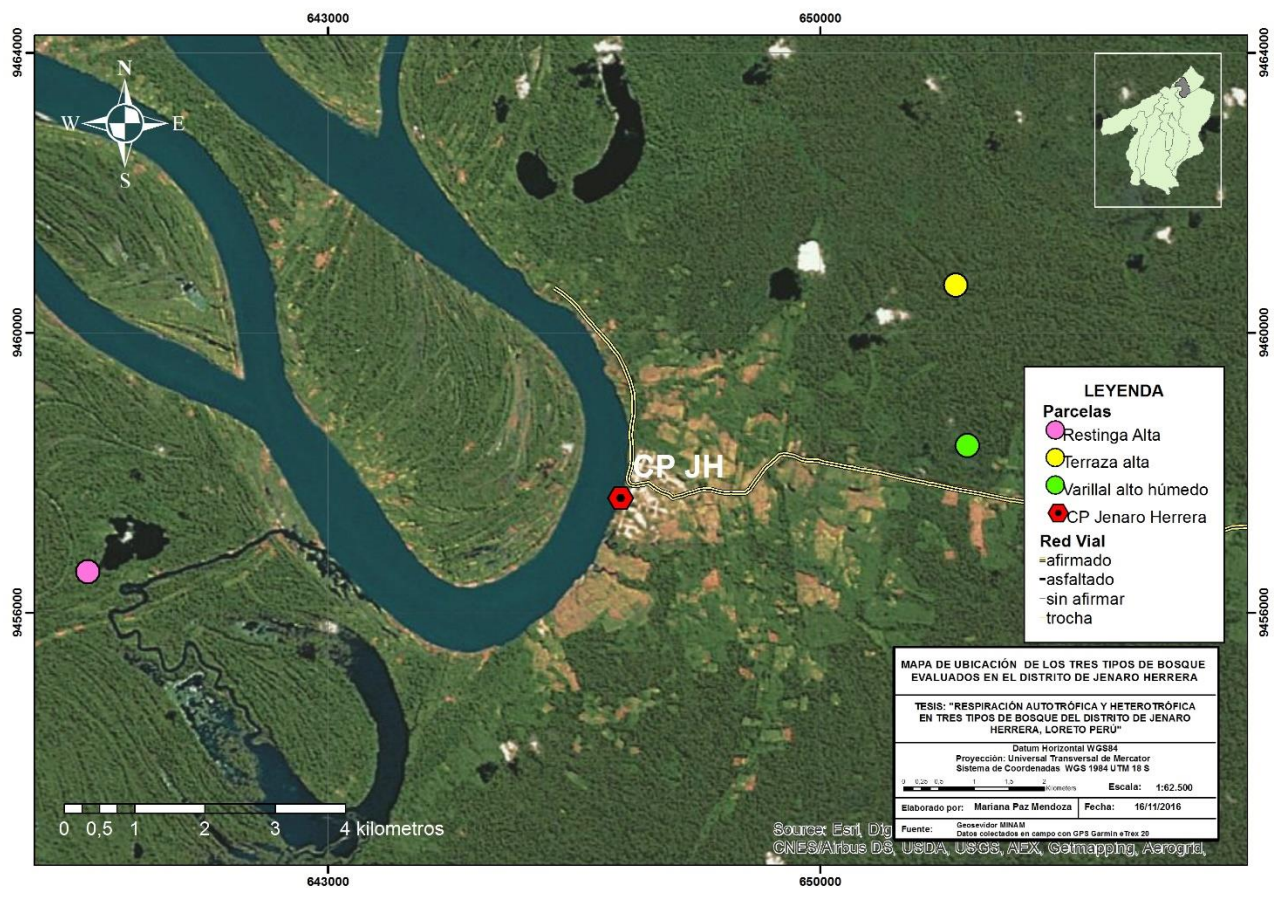


Figura 13. Mapa de ubicación del área de estudio.



**Figura 14.** Preparación los tubos para la respiración del fuste



**Figura 15.** Vista del proceso de pegado en llantas ya cortas a los tubos para poder colocar en el fuste con ayuda de las cintas plásticas.



**Figura 16.** Tubos de 40 cm con ventanas, listos para la instalación de los componentes del suelo.