



UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Escondido

INCREMENTO EN DIÁMETRO DE *Calophyllum brasiliense* Cambess  
EN ASOCIACIÓN CON UN SISTEMA AGROFORESTAL DE  
CAFETAL RUSTICANO EN JOCOTEPEC, OAXACA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO FORESTAL

PRESENTA

ADRIAN HERNÁNDEZ SANTIAGO

DIRECTORA

DRA. VERÓNICA ORTEGA BARANDA

PUERTO ESCONDIDO, OAXACA 2021

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, por su apoyo incondicional y por sus sabios consejos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Jose Hernández Ventura y Agustina Santiago López, por todo el apoyo incondicional que me ofrecieron para terminar mi carrera, por su comprensión y por sus palabras alentadoras para culminar esta etapa de mi vida, a mi padre por apoyarme con su terreno para poder realizar mi experimento.

A la Universidad del Mar campus Puerto Escondido, mi alma Mater por acogerme en sus instalaciones y por la formación recibida en estos cinco años.

A mi directora de tesis la Doctora Veronica Ortega Baranda por sus acertadas palabras y sabios consejos, para terminar este trabajo, así mismo quiero agradecer por apoyarme en mis momentos de locura con sus clases de psicología.

A mis revisores: Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal, Dra. Irma Gisela Nieto Castañeda, Dr. Juan Manuel Villa y M.C. Ricardo García García, por la cuidadosa revisión que hicieron al manuscrito y por que sus comentarios mejoraron el trabajo.

A la señora Divina por sus deliciosos guisos que me dio durante tres años, a mis compañeros de grupo: Almita, Consuelo, Myriam, Uvaldi, Joselin y Mario por las aventuras que vivimos en nuestras prácticas y por soportar mis bromas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 Objetivo general.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	<b>18</b>
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
4.1 Incremento y crecimiento en diámetro.....	19
4.2 Instrumentos de medición del incremento en diámetro.....	20
4.3 Uso de las bandas dendrométricas en el incremento en diámetro.....	21
4.4 El incremento en diámetro y la relación con la fenología.....	22
4.4.1 El incremento en diámetro y la relación con la calidad de copa: forma e iluminación.....	24
4.4.2 Factores ambientales que influyen en el incremento en diámetro.....	24
4.5 Los sistemas agroforestales de café (SAFC).....	26
4.5.1 Clasificación de los Sistemas Agroforestales de Café (SAFC).....	27
4.5.2 El incremento en diámetro de las especies arbóreas en los Sistemas Agroforestales de café (SAFC).....	30
4.6 Modelos de crecimiento.....	31
4.6.1 Tipos de modelos de incremento en diámetro.....	38
4.6.2 Importancia de los modelos de crecimiento en diámetro.....	39
4.7 Especie de estudio.....	40
<b>5. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>43</b>
5.1 Ubicación del área de estudio.....	43
5.1.2 Descripción del sistema agroforestal con café rusticano activo (SAFC-AC).....	44
5.1.3 Descripción del sistema agroforestal con café rusticano abandonado (SAFC-AB).....	44

5.1.4 Geomorfología.....	45
5.1.5 Geología.....	45
5.1.6 Edafología.....	45
5.1.7 Geografía y clima.....	46
5.1.8 Vegetación.....	46
5.1.9 Selección de los individuos de <i>Calophyllum brasiliense</i> .....	46
5.2 Descripción de Calidad de copa: forma e iluminación.....	47
5.3 Registro de eventos fenológicos.....	47
5.4 Análisis estadísticos.....	48
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
6.1 Incremento promedio anual en diámetro de <i>Calophyllum brasiliense</i> .....	49
6.1.1 Calidad de copa.....	56
6.1.1.1 Iluminación de copa.....	56
6.1.1.2 Forma de copa.....	61
6.1.2 Fenología de <i>Calophyllum brasiliense</i> .....	66
6.1.2.1 Floración.....	66
6.1.2.2 Fructificación.....	67
6.1.2.3 Emergencia de hoja.....	69
6.1.2.4 Caída de hoja.....	70
6.1.3 Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) en incremento y Fenología de <i>Calopyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC y en un SAFC-AB.....	72
6.2 Análisis de Correspondencias Múltiples.....	73
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>75</b>
7.1 Incrementos promedios anuales en diámetro de <i>Calophyllum brasiliense</i> ....	75
7.2 Iluminación y forma de copa.....	78
7.2.1 Iluminación de copa.....	78
7.2.2 Forma de copa.....	80
7.3 Fenología.....	80
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>9. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos matemáticos más utilizados para obtener incrementos en diámetro de especies forestales de clima cálido.....	33
Cuadro 2: Categorías ordinales de copa en forma e iluminación de copa.....	47
Cuadro 3. Incremento promedio anual en diámetro mínimo, promedio y máximo de <i>Calophyllum brasiliense</i> por categoría diamétrica en un SAFC-AB.....	49
Cuadro 4. Incremento promedio anual en diámetro máximo, promedio y mínimo de <i>Calophyllum brasiliense</i> por categoría diamétrica en un SAFC-AC.....	50
Cuadro 5. Valores promedio del incremento en diámetro por categoría diamétrica de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> SAFC-AB.....	54
Cuadro 6. Valores promedio del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> SAFC-AC.....	54
Cuadro 7. Incremento promedio anual acumulado en diámetro mínimo, promedio y máximo de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB por iluminación de copa.....	57
Cuadro 8. Incremento promedio anual en diámetro mínimo, promedio y máximo de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por iluminación de copa.....	59
Cuadro 9. Incremento promedio anual acumulado en diámetro mínimo, promedio y máximo de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB por forma de copa.....	62
Cuadro 10. Incremento promedio anual acumulado en diámetro mínimo, promedio y máximo de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por forma de copa.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	44
Figura 2. Incremento acumulado en diámetro en un SAFC-AB, a) cat. 10, b) cat. 15, c) cat. 20, d) cat. 30 y e) cat. 35.....	51
Figura 3. Incremento acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC, a) cat. 15, b) cat. 20, c) cat. 25, d) cat. 30 y e) cat. 40.....	53
Figura 4: Gráfica de incremento promedio acumulado de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AB.....	55
Figura 5: Incremento promedio acumulado de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC.....	56
Figura 6: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en SAFC-AB por iluminación de copa.....	57
Figura 7: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por iluminación de copa.....	58
Figura 8: Incremento acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB por iluminación de copa. a) Copa totalmente iluminada, b) Copa parcialmente iluminada y c) Copa poco iluminada.....	60
Figura 9: Incremento acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por iluminación de copa. a) Copa parcialmente iluminada y b) Copa poco iluminada.....	61
Figura 10: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB por forma de copa.....	62
Figura 11: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por forma de copa.....	63
Figura 12: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB por forma de copa. a) Asimétrica y b) Parcialmente simétrica.....	64
Figura 13: Incremento promedio acumulado en diámetro de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC por forma de copa. a) Asimétrica b) Parcialmente simétrica.....	65
Figura 14: Gráfica de floración de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AB.....	66
Figura 15: Floración de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AC.....	67
Figura 16: Gráfica de fructificación de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB.....	68
Figura 17: Fructificación de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AC.....	68

Figura 18: Emergencia de hojas de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AB.....	69
Figura 19: Emergencia de hojas de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en un SAFC-AC.....	70
Figura 20: Caída de hojas de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AB.....	71
Figura 21: Caída de hojas de árboles de <i>Calophyllum brasiliense</i> en un SAFC-AC.....	72
Figura 22: Gráficos bivariados de las dimensiones 1 y 2 resultado del análisis de correspondencias múltiples de árboles de <i>C. brasiliense</i> ; a) cat. 10, b) cat. 15, c) cat. 20, d) cat. 30 y e) cat. 35 en SAFC-AB.....	73
Figura 23: Gráficos bivariados de las dimensiones 1 y 2 resultado del análisis de correspondencias múltiples de árboles de <i>C. brasiliense</i> a) cat. 15, b) cat. 20, c) cat. 25, d) cat. 30 y e) cat. 40 en SAFC-AC.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías.....	106
---------------------------	-----

## RESUMEN

El incremento en diámetro es el aumento de crecimiento en un árbol en un período de tiempo. Este incremento arbóreo se estima usualmente a partir de la medición repetida del diámetro del fuste, a una altura o alturas definidas, por tratarse de un procedimiento sencillo, de fácil aplicación y con una precisión mayor que la obtenida en la medición o estimación de otras variables dendrométricas. Es de suma importancia el estudio de estos incrementos ya que nos aportan datos fidedignos sobre los turnos de las especies que se aprovecharán. Los sistemas agroforestales ayudan a solucionar los problemas de rentabilidad del café, ya que además de modificar positivamente el microambiente del cultivo y mejorar el suelo incrementando la materia orgánica del suelo y los nutrimentos en ellos, proveen ingresos adicionales al productor. Así un sistema de cafetal activo se tiene cuando existe una plantación de café en asociación con árboles cultivados, en cambio un sistema abandonado se presenta cuando se le dejan de dar los tratamientos silvícolas. A nivel nacional se tienen registros del uso de las bandas dendrométricas para medir el incremento en diámetro de diferentes especies tropicales, pero no para la especie de *Calophyllum brasiliense*, ya que es una especie de lento crecimiento en sus primeras etapas, por eso el presente estudio tuvo por objetivo determinar el incremento en diámetro de *Calophyllum brasiliense* y su relación con factores fenológicos, forma e iluminación de copa, en un sistema agroforestal de café rusticano activo y abandonado en la costa de Oaxaca. En una superficie de 20 ha en la comunidad de Santiago Jocotepec Oaxaca se seleccionaron 40 individuos de *Calophyllum brasiliense*, instalándoles bandas dendrométricas, a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo (DAP) para tomar lecturas bimensuales de su crecimiento. Las mediciones arrojaron categorías diamétricas (CD) de 7.6 cm-12.5 cm (cat 10); 12.6 cm-17.5 cm (cat 15); 17.6 cm-22.5 cm (cat 20); 22.6 cm-27.5 cm (cat 25); 27.6 cm-32.5 cm (cat 30); 32.6 cm-37.5cm (cat 35) y 37.6cm-42.5cm (cat 40). En los árboles bajo estudio sin presencia de cafetal se encontró que la CD 35 fue la que presentó mayores incrementos y la categoría 20 menores incrementos con una diferencia de 0.79 cm. Para los árboles con presencia de cafetal los mayores incrementos se registraron en las categorías 40 y 30 respectivamente, se

comprobó que los árboles con copas parcialmente iluminadas tuvieron mayores incrementos, así mismo presentar copa asimétrica y la fenología no mostraron correlación negativa para el incremento. *Calophyllum brasiliense* por su lento crecimiento inicial hace recomendable a la especie para sistemas agroforestales ya que permite aprovechar el terreno para otros cultivos.

Palabras clave: Sistemas Agroforestales, Bandas dendrométricas, Biodiversidad, Fenología, Calidad de Copa, Iluminación de Copa.

### ABSTRACT

The increase in diameter is the growth of a tree over a period of time. This arboreal increase is usually estimated from the periodic measured of diameter of the trunk, because it is a simple, easy application, with a greater accuracy than the obtained with the measurement or estimation of other variables. The study of these increases is very important because it provides us with trustworthy details concerning the different species that will benefit from it. The agroforestry system helps to solve coffee profitability problems, therefore, in addition to positively modify the harvest from the microenvironment and boost the soil by incrementing the organic ground material and nutrients, which provides additional incomes to the product. Thereby we would have an active coffee plantation system if it exists a coffee in association with cultivated trees, on the other hand an abandoned system would appear if it stops getting enough silvicultural care. At the national level there is a registration of the use of dendrometric bands which is used to find to different tropical species of diameter rise unfortunately not used for the *Calophyllum brasiliense* species, because it is a very slow-growing species in its early stages. For this main reason the focus was on knowing the diameter increment of the *Calophyllum brasiliense* relative with phenological issues, crown shape and lighting, which was made on a specific system of active coffee located on Oaxaca coast. At Santiago Jocotepec Oaxaca at about 20 hectares there were selected 40 *Calophyllum brasiliense* that were installed, dendrometric bands to a 1.30 m height were the beginning of the tree is to take

bimonthly reading of the growth. The results of the bimonthly Reading was between 7.6 cm-12.5 cm (cat 10); 12.6cm-17.5cm (cat 15); 17.6cm-22.5cm (cat 20); 22.6cm-27.5cm (cat 25); 27.6cm-32.5cm (cat 30); 32.6 cm-37.5cm (cat 35) and 37.6cm-42.5cm (cat 40). On trees without the presence of coffee plantation, were the ones that had better diameter increase. The (C.D) 20 were the ones with fewer increase with a difference of 0.79 cm. On the otherhand the tres on category 40 and 30 are registered as the highest increase, likewise the presence of phenology and asymmentric crown did not show a negative result. The *Calophyllum brasiliense*, has a slow initial growth thats the reason it is recommended for agroforestry systems, because it allows the harvests benefit on the field.

Key words: Agroforestry Systems, Dendrometric bands, Biodiversity, Phenology, Cup Quality, Cup Lighting.