

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE ECOLOGÍA**

TESIS

**“INCREMENTO DE LA DEFORESTACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS EN LA
PÉRDIDA DE BIOMASA EN LOS BOSQUES DE LA PROVINCIA ALTO
AMAZONAS DEL DEPARTAMENTO DE LORETO, 2000-2014”**

Tesis para optar el título de Licenciado en Ecología

Autor

MANUEL BURGA RÍOS

Iquitos – Perú

2016

**“Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa
en los bosques de la provincia Alto Amazonas del Departamento de Loreto,
2000-2014”**

MIEMBROS DEL JURADO



.....
Dr. ALVARO TRESIERRA AYALA
Presidente



.....
Dra. MARIANELA COBOS RUIZ
Miembro



.....
Blgo. JAVIER DEL AGUILA CHAVEZ M. Sc.
Miembro



.....
Ing. JOSÉ DAVID URQUIZA MUÑOZ
Asesor



Universidad Científica del Perú

**FACULTAD
DE CIENCIA E
INGENIERÍA**

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Iquitos, a las 11:00 horas del día viernes 4 de noviembre del año 2016, se reunió el Jurado Examinador, que firma al final del presente documento, para evaluar la Sustentación del bachiller en Ecología:

MANUEL BURGA RÍOS

En la modalidad de: **SUSTENTACIÓN DE TESIS**

"Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia Alto Amazonas del departamento de Loreto"

Después de las deliberaciones correspondientes, se procedió a evaluar:

Indicador	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3	Promedio
A) Dominio del Tema	19	19	19	19
B) Calidad de Redacción de la Tesis	16	16	17	16
C) Competencia Expositiva (Claridad conceptual, argumentación y coherencia)	18	19	18	18
D) Calidad de Respuestas	18	18	19	18
E) Uso de Terminología Especializada	18	19	18	18
Calificación Final:				18

Aprobado Por: *Excelencia*

Calificación Final (en letras): *Diocrocho*

Presidente: Dr. Álvaro Tresierra Ayala

Miembro: Dra. Marianela Cobos Ruiz

Miembro: Blgo. Javier Del Águila Chávez

INDICADOR	PUNTAJE
Desaprobado	Menos de 13 puntos
Aprobado por Mayoría	De 14 a 15 puntos
Aprobado por Unanimidad	De 16 a 17 puntos
Aprobado por Excelencia	De 18 a 20 puntos

La Universidad Vive en Ti

Av. Abelardo Quiñones Km. 2,5 San Juan Bautista, Iquitos

Telf.: (065) 261088-261092

DEDICATORIA

A mi hijo, Santhiago Varek

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Científica del Perú (UCP) y a los profesores de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, por haber contribuido en mi formación profesional.

A mis compañeros de trabajo de la Sub Gerencia de Planeamiento y Acondicionamiento Territorial del Gobierno Regional de Loreto, por sus discusiones y aportes en el desarrollo de esta investigación.

INDICE

N°	Descripción	Pág.
	DEDICATORIA	
	AGRADECIMIENTO	
	INDICE	iii
	LISTA DE CUADROS	vi
	LISTA DE FIGURAS	vii
	RESUMEN	ix
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	3
	2.1. Marco teórico	3
	2.1.1. La deforestación	3
	2.1.2. Causas de la deforestación	5
	2.1.3. Biomasa de los bosques	6
	2.2. Definición de términos básicos	7
	2.3. Antecedente	9
	2.3.1. Investigaciones realizadas sobre biomasa	9
	2.3.2. Estimaciones de la biomasa aérea de los árboles	10
	2.3.3. Deforestación en el Perú	11
	2.3.4. Teledetección	13
	2.3.5. Técnicas de análisis multitemporal	14
	2.3.6. Monitoreo del cambio de uso del suelo	14
	2.3.7. Imágenes de satélite	15
	2.3.8. Ajuste de modelos alométricos	18

III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Área de estudio	21
3.2. Materiales y equipos	25
3.3. Tipo de investigación	25
3.4. Población y muestra	25
3.5. Procedimientos, técnicas y recolección de datos	26
3.5.1. Procedimiento	26
3.5.2. Procesamiento de la información	26
3.5.3. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia del Alto Amazonas	29
3.5.4. Incremento de la deforestación	30
3.5.5. Cuantificación de la pérdida de biomasa para el periodo 2000- 2014 en los bosques de la provincia del Alto Amazonas	31
3.5.6. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa en los bosques de la Provincia Alto Amazonas	31
3.6. Técnica e instrumentos de recolección de datos	32
IV. RESULTADOS	33
4.1. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia de Alto Amazonas	33
4.2. Incremento de la deforestación del área evaluada	33
4.3. Cuantificación de la pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia de Alto Amazonas	34
4.3.1. Cuantificación de biomasa del área evaluada	34
4.3.2. Pérdida de biomasa del área evaluada	37

4.4. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa	40
V. DISCUSIÓN	42
5.1. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014	42
5.2. Incremento de la deforestación de la provincia del Alto Amazonas	45
5.3. Pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 del área de estudio	46
5.4. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa del área evaluada	50
VI. CONCLUSIONES	52
VII. RECOMENDACIONES	53
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	61

LISTA DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
1.	Modelos alométricos	32
2.	Biomasa almacenada en los bosques de la provincia de Alto Amazonas	35
3.	Pérdida de biomasa en toneladas por distrito del área evaluada	37
4.	Modelo alométrico que muestra mejor relación entre la deforestación y la biomasa	40

LISTA DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Adquisición de imágenes por sensores activos	13
2.	Firma espectral	14
3.	Proceso para la obtención de datos de deforestación mediante el software CLASLite	27
4.	Mapa de Distribución de biomasa en 11 clases	27
5.	Mapa de carbono	29
6.	Modelo lógico de unión espacial (ESRI, 2014) donde el círculo de color amarillo representa la información de la deforestación y los rectángulos grises representan la información de biomasa	30
7.	Deforestación total por distrito de la provincia del Alto Amazonas para el Periodo 2000-2014	33
8.	Incremento de la deforestación por período en ha/año del área evaluada	34
9.	Biomasa total almacenada por distrito de la provincia del Alto Amazonas para el periodo 2000-2014	35
10.	Biomasa total por hectárea y por distrito reportado según a) Baccini ² . y b) Saatchi ¹ .	36
11.	Distribución de la biomasa por hectárea y por distrito reportado según a) Baccini ¹ y b) Saatchi ² .	36
12.	Pérdida de biomasa total calculada	37
13.	Pérdida de biomasa en toneladas por distrito	38

14.	Distribución espacial de la pérdida de biomasa por distrito, calculados a partir de los datos de biomasa total de Baccini ² y Saatchi ¹ .	39
15.	Pérdida total de biomasa por periodo del área evaluada	40
16.	Modelo alométrico cúbico que presenta mejor relación de la deforestación y la biomasa según Baccini ² .	41
15.	Modelo alométrico cúbico que presenta mejor relación de la deforestación y la biomasa según Saatchi ¹ .	41

RESUMEN

El estudio sobre incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia del Alto Amazonas, se realizó en un área aproximada de 1 958 133.5 ha. Para estimar la deforestación se utilizó la base de datos del Ministerio del Ambiente que maneja el Sistema de Análisis Landsat de Carnegie-Lite (CLASlite) y para cuantificar la biomasa se empleó datos de los estudios: *Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000*¹ y las *Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps*².

En el periodo de estudio (2000 – 2014) se deforestaron un total de 79 723.01 ha (4.07% de la superficie total). El distrito de Yurimaguas registro la mayor superficie deforestada con 41 610.2 ha (38.58% del total 145 617.3 ha); mientras que la menor superficie muestra el distrito de Lagunas con 4 154.6 ha (0.69% del total de superficie 603 391.4 ha). El mayor incremento de la deforestación se presenta en el año 2010-2011 con 62 811.70 ha/año. Además el incremento de la deforestación promedio anual para el periodo de estudio es de $5\,314.87 \pm 2\,987.22$ ha/año.

Se estima que se perdieron 13 070 707.74 tn de biomasa aérea del total estimado por Baccini², que representa el 14.22% del total estimado por estos autores; y 16 753 500.64 tn de biomasa aérea perdida del total estimado por Saatchi¹, que constituye el 20.41%. El modelo alométrico cúbico se ajustó a la relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa, además los datos determinados por Baccini², reportan el más alto valor del coeficiente de determinación ($R^2=0,98$) y menor valor muestran los datos determinados por Saatchi¹ con 0,96 de coeficiente de determinación.

Palabras claves: Incremento, deforestación, biomasa y relación.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de tierras para satisfacer las necesidades de una creciente población continúa impacta fuertemente en los ecosistemas naturales, siendo la deforestación una de las transformaciones de la tierra más evidentes. Por tal situación los bosques tropicales influyen en el clima local y probablemente en el mundial, moderan la gama diurna de temperaturas del aire y mantienen los niveles de humedad atmosférica, absorben el carbono de la atmósfera y reponen el oxígeno en el aire que respiramos³.

Existe una considerable preocupación relacionada con el cambio climático global, la cual se ha incrementado durante las últimas dos décadas y particularmente durante los últimos cinco años, ya que cada día resultan más visibles las noticias relacionadas con el tema en los medios de comunicación. Los impactos de las actividades humanas en el clima causadas por el consumo extensivo de combustibles fósiles, la deforestación, pérdida de la biodiversidad, contaminación del agua o la erosión del suelo son los signos más evidentes del cambio global⁴.

A través del conocimiento de la deforestación que trae como resultado la pérdida de la biomasa se puede estimar el total de dióxido de carbono (CO₂) que pueden fijar y almacenar los bosques de nuestra región y con ello se podrían implementar proyectos para pago de servicios ambientales por captura y retención de carbono, lo que generaría ingresos adicionales a nuestra región y por ende elevaría la calidad de vida de las poblaciones involucradas.

La deforestación es uno de los problemas ambientales más serios de los últimos tiempos. Este tema se ha convertido de interés mundial debido a la importancia de

los bosques por los diferentes servicios ambientales que proveen. Las grandes dificultades que afronta el recurso forestal en el país es el de estar sometido a constante presión y depredación, como consecuencia de malas prácticas agropecuarias y de la venta ilegal de madera, siendo los responsables los campesinos que urgidos por la pobreza arremeten contra los bosques en busca de nuevas áreas de cultivo o comerciantes que hacen caso omiso de las leyes que prohíben el tráfico de madera, ocasionando como tal la disminución de la cobertura vegetal (biomasa) en la provincia del Alto Amazonas de la región Loreto.

Una manera de monitorear dichos cambios es aprovechando el avance considerable de las herramientas computacionales orientadas al estudio de los recursos naturales. Sin embargo no se cuenta con estadísticas aproximadas de esta problemática, por lo que haciendo uso del avance tecnológico a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, se realizó el estudio multitemporal de la deforestación. En ese sentido, los objetivos del presente trabajo de investigación son importantes porque se orientó a: 1) Cuantificar la deforestación para el periodo 2000-2014; 2) Determinar el incremento de la deforestación para el periodo 2000-2014, 3) Cuantificar la pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014; 4) Determinar la relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia del Alto Amazonas.

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco teórico

2.1. 1. La deforestación

Tratando de precisar el concepto de deforestación, normalmente a este se le asocia con el cambio de uso del suelo. Sin embargo, aun cuando no haya cambio de uso del suelo, la intervención en el bosque por la extracción de madera puede ocasionar alteraciones sustanciales en la composición y estructura del mismo, que rompen su capacidad de absorber las perturbaciones del entorno. Este fenómeno puede ser descrito como parte del proceso de deforestación y, por lo tanto, es correcto considerar dichas superficies alteradas como áreas deforestadas. En un sentido más estricto, cuando a un ecosistema forestal se le extrae un volumen superior al que puede reponer (crecimiento natural), se puede decir que hay deforestación. De este modo, el grado mínimo de deforestación está dado por el crecimiento natural del bosque, mientras que el cambio de uso del suelo representa el grado máximo de deforestación³.

La deforestación ocurre mayormente en países en vías de desarrollo donde el nivel de bienestar de los ciudadanos es un factor crucial en la determinación del tamaño de las áreas deforestadas. La pobreza, la sobrepoblación y la deuda externa acentúan la deforestación en muchos de los países tropicales. Los requerimientos del crecimiento económico resultan en el incremento de la demanda de productos agrícolas y forestales⁴.

Los bosques y selvas poseen los ecosistemas más ricos y valiosos albergando entre un 50% y un 90% de todas las especies de la tierra. El área total de bosque entre los años 2005-2010 fue de 4 mil millones de hectáreas, cubriendo el 31% del área total

de la tierra. Durante los años 80s, se perdieron anualmente 16,3 millones de hectáreas de bosques y selvas⁴, mientras que en el periodo de 1990 a 2000, fue de - 8,9 millones de hectáreas anuales⁴; para el periodo 2000-2005, - 7,3 millones de hectáreas y la última evaluación de la FAO⁵, indicó una pérdida, enfocando el periodo para el año 2000-2010 de -5.2 millones de hectáreas por año a nivel mundial, lo que representa una reducción en la tasa de deforestación y el incremento en el área de nuevos bosques establecidos mediante plantación y la expansión natural de bosques ya existentes. A nivel regional, Sudamérica cuenta con el mayor porcentaje de cubierta forestal, seguida por Europa, Norteamérica y Centroamérica⁴.

La deforestación anual en el periodo 2009-2010 fue de 108 572 ha, mientras que en el periodo de análisis 2010-2011 la pérdida de bosques por deforestación fue de 103 380 ha. Por otro lado, la suma de los 2 periodos analizados nos da idea de la deforestación absoluta o acumulada que para el periodo 2009 al 2011 fue de 211 952 ha y la tasa promedio de deforestación se calculó en 105 976 ha/año⁶. La cifra de tasa promedio de deforestación para la Amazonía es comparativamente más baja que la determinada para el periodo de 1990-2000 reportado por Ministerio del Ambiente⁷, que fue de 149 631.76 ha/año. Esta diferencia debe ser vista como producto de un análisis de un periodo corto de los últimos 3 años, en cuyo caso se registra la tasa real de deforestación del 2009-2010-2011, en tanto el promedio usado como referente fue calculado para un periodo más largo de 10 años.

En general, en la Amazonía Peruana la deforestación está vinculada a procesos de desarrollo que involucran el aprovechamiento de recursos naturales. En ese sentido, uno de estos aspectos vinculados con la pérdida de la cobertura boscosa es el desarrollo de los grandes proyectos viales y otros ejes de gran flujo comercial y de poblaciones. De los resultados generales las diferencias entre la deforestación anual

del periodo 2009-2010 y 2010-2011 se deben a que regiones como San Martín, Ucayali, Huánuco o Pasco acusaron menor deforestación en el último periodo analizado⁶.

En la región Loreto la deforestación va en aumento especialmente en zonas comprendidas en la provincia de Alto Amazonas, y caso particular del distrito de Yurimaguas frontera con la región San Martín, así por ejemplo sólo en una zona específica de este distrito en el periodo del 2009 al año 2010 se incrementaron aproximadamente 1470 ha de cultivos de palma y del 2010 al 2011 se sumaron otras 2 500 ha, significando un incremento de 70% en el lapso de 01 año. Además de los cultivos de palma, también hay cambios considerables de la cobertura de bosque a usos agrícolas y áreas de ganadería extensiva de vacunos distribuidas a lo largo de la carretera a Yurimaguas⁶.

2.1. 2. Causas de la deforestación

En muchos estudios sobre deforestación no se distinguen entre agentes y causas de dicha deforestación, culpándose y señalándose a los que actúan desde el punto de vista económico, comprensible dentro de un marco macro económico, político y social pero circunstancial. Existe mucha controversia sobre quiénes son los agentes que ocasionan la deforestación, así tenemos a los industriales de la madera, los motosierristas, los petroleros y mineros, los agricultores, los ganaderos, la agroindustria, los cultivos ilícitos, los proyectos de desarrollo, los gobiernos centrales y seccionales y la infraestructura vial entre otros⁴⁹.

Pero la deforestación es el producto de muchas fuerzas que interactúan en un determinado momento tales como las ecológicas, económicas, sociales, culturales y principalmente las políticas, las mismas que apuntan en un momento dado a soluciones temporales y facilitan el sacrificio del bosque tropical. Las causas directas

son las más visibles, las más fácilmente identificables y las que se asocian más rápidamente con los agentes de la deforestación. Las mismas están motivadas por otras fuerzas socioeconómicas menos visibles o causas indirectas⁵⁰.

2.1.3. Biomasa de los bosques

La biomasa de las comunidades vegetales es la cantidad de material vegetal o la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un período determinado, expresado en peso de materia seca (toneladas) por unidad de área⁸. La biomasa es un depósito importante de los gases de efecto invernadero (GEI) y contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica⁹.

Montoya¹⁰ y Ordóñez¹¹, describen que con el manejo forestal es posible compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas: 1) Creando nuevos reservorios de dióxido de carbono. Restaurando las áreas degradadas por medio de plantaciones y/o regeneración natural y por la extracción de madera. En ambos casos se pretende almacenar el carbono a través del crecimiento de árboles, y al extraer la madera convertirla en productos durables y 2) Protegiendo los bosques y suelos. Con la destrucción del bosque se pueden liberar a la atmósfera de 50 a 400 toneladas de carbono por hectárea. A demás mencionan que mientras la protección de un área forestal puede inducir a la presión de otra, el manejo integrado de recursos enriquecido con esquemas de evaluación de proyectos es requerido para validar dicha protección.

Con respecto a la importancia de los bosques en la dinámica del carbono existen dos vertientes: los bosques como emisores de carbono (aproximadamente la cuarta parte de emisiones globales provienen de la quema de bosques, deforestación cambio de uso de suelo y la erosión) y como parte del almacenaje del mismo; por lo

último estos pueden representar un papel clave en la generación de reducciones de carbono¹². Durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta o suelo y hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera se considera “capturado”. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono¹³.

Respecto al almacenaje de CO₂, el Protocolo de Kyoto otorgó reconocimiento oficial al papel de los bosques como “sumideros” de carbono en la mitigación del cambio climático global, al reducir las concentraciones atmosféricas de CO₂; así mismo promovió un mercado potencial para el carbono forestal¹⁴. La lógica básica de los mecanismos basados en el mercado se centra en la venta de servicios ambientales mediante la captura de carbono a compradores que necesitan conseguir créditos para cumplir los requerimientos de reducción de emisiones de Kyoto¹⁵.

Existen tres opciones básicas de mitigación de carbono en el sector forestal: la conservación, la reforestación y forestación y la sustitución de combustibles. El concepto de captura de carbono en donde la vegetación es usada como sumidero integra la idea de su conservación o permanencia en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, así como en lugares en donde es inminente su desaparición¹⁵.

2.2. Definición de términos básicos

Biomasa: Peso o volumen total de organismos presentes en un área o volumen dados. Peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica, por encima y por debajo del suelo⁹.

Bosque: Superficie mínima de tierras de entre 0.05 y 1.0 hectáreas (ha) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) que excede del 10 al

30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 metros (m) a su madurez in situ¹⁶.

Deforestación: Es la pérdida de bosques o masa forestal, causada por la actividad humana, principalmente por la industria maderera y de transformación, la tala indiscriminada para ganar tierras en la agricultura, uso de leña, construcción de carreteras, incendios, entre otros generando desequilibrio ecológico, pérdida de la biodiversidad e incremento en el calentamiento del planeta; o también la deforestación es el proceso de pérdida de los bosques o masas forestales, fundamentalmente causada por la actividad humana, tala o quema de árboles accidental o provocada. Está directamente causada por la acción del hombre sobre la naturaleza, principalmente debido a las talas realizadas por la industria maderera, así como para la obtención de suelo para la agricultura¹⁶.

Por bosques se entiende a las tierras que se extienden por más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. Los bosques son formaciones forestales densas, donde los árboles de diversas alturas y el sotobosque cubren una proporción considerable del terreno, o bien en una masa boscosa clara¹⁶.

Incremento: Incremento es tanto la acción como el resultado de incrementar o aumentar una cosa material o inmaterial o un estado o situación, en relación a lo que antes era o sucedía.

Relación: Es la afinidad que puede ocurrir entre dos variables de un mismo material de investigación¹⁷.

2.3. Antecedentes

2.3.1. Investigaciones realizadas sobre biomasa

Rodríguez¹⁸, desarrolló una investigación para cuantificar la cantidad de carbono almacenado en los bosques de niebla de la Reserva de la Biosfera “El Cielo”, en Tamaulipas, México. Mediante modelos no lineales estos autores mostraron que la especie *Liquidambar styraciflua* “estoraque” aportó más de 28.5 Mg/ha de biomasa, seguida de *Pinus montezumae* “ocote” y *Quercus xalapensis* “petzaláhuatl” con más de 18.4 Mg/ha y el estrato arbustivo con diámetros entre 5 y 10 cm y con dominancia de tres especies con 13.5 Mg/ha.

Vidal¹⁹, realizaron un estudio sobre la estimación de biomasa en ramas y follaje en bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Cuba, donde estimaron la cantidad de biomasa mediante modelos alométricos con un total de 169 árboles. Los resultados obtenidos indican que el DAP explica el mayor porcentaje de la variabilidad de los datos y está más correlacionado con la cantidad de biomasa de ramas y follaje en árboles con un DAP máximo de 47 cm (65 kg de biomasa en follaje y con 110 kg en ramas). A pesar de que la altura total estuvo relacionada con las variables de follaje y ramas, su aporte a los modelos probados no fue significativo.

En la cuenca del río Nanay se evaluó bosques sin intervenir y se reportaron valores que oscilan entre 13 208.32 tn/ha en varillales y 452.38 tn/ha en aguajales, para la biomasa sobre la superficie y para carbono 104.03 tn/ha en varillales y 226.19 tn/ha en aguajales⁹. Dado al mayor volumen de biomasa de los bosques tropicales, destacamos su especial aptitud como sumidero de carbono, pues los bosques amazónicos mantienen entre 155 y 187 tn/ha; 34 veces más en promedio, que las tierras dedicadas a la agricultura⁹.

En términos porcentuales el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77% del total; luego están las ramas, de 5% y 37%; y por ultimo las hojas y la corteza de fuste entre 1% a 15% y 5% a 16%, respectivamente⁹. La contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, corteza, rama, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural²⁰. Con respecto a la biomasa de las raíces, esta varía mucho dependiendo de las características del clima, suelo y especie. La biomasa de las raíces se expresa comúnmente en relación a la biomasa aérea, como la razón raíz/tallo (R/T). Las estimaciones, no son consistentes respecto a la profundidad de muestreo, como tampoco si se incluyen raíces gruesas²⁰.

2.3.2. Estimaciones de la biomasa aérea de los árboles

Gayoso²⁰, determinaron funciones para estimar la biomasa individual de 5 especies de árboles y 5 de arbustos del parque Chaqueño Seco, pesando sus componentes húmedos (troncos, ramas, ramillas, hojas y frutos). Los pesos secos se obtuvieron mediante el uso de las razones de peso seco/peso húmedo determinadas en base a muestras secadas en estufas de 105°C. Mediante técnicas de regresión se obtienen las ecuaciones que permiten estimar la biomasa aérea individual en función de otras variables como son el diámetro, diámetro a la base, diámetro de copa, volumen de copa, altura de fuste y altura de copa.

Vidal²¹, estimaron la biomasa de copa para árboles en pies de *Pinus tropicalis morelet* de Pinar del Río, Cuba considerando en total 191 árboles para tal fin tomaron información del diámetro normal y la altura total. Mencionan que en todos los casos estudiados el peso foliar y el peso de las ramas aumentan de forma directamente proporcional al diámetro normal de los árboles, determinaron que la

variable independiente más eficiente para la estimación en pie del peso de la biomasa de copa (foliar y ramas) de la especies estudiadas fue el diámetro normal. Acosta²², indican que ejecutaron un estudio donde se plantearon conocer la biomasa aérea de las especies leñosas más comunes, dado que el componente aéreo del estrato arbóreo constituye uno de los principales almacenes de biomasa, y por lo tanto de carbono, generalmente los modelos alométricos se generan por especies, sin embargo, es probable que varias especies que crecen en un mismo tipo de vegetación presenten similitud del patrón morfológico de crecimiento y, por lo tanto, en la asignación de biomasa aérea. Si esto ocurriera, podría utilizarse un mismo modelo alométrico para estimar la biomasa en varias especies.

2.3.3. Deforestación en el Perú

La agricultura migratoria y el cultivo de hoja de coca son dos motivos principales de la deforestación en el Perú. Al ser los suelos de la Amazonía de baja fertilidad, son usados en los cultivos de dos a tres años para luego ser cambiados por otras áreas de bosque que son deforestados, propiciando mayor eliminación de bosque. La deforestación en la década de 1980 fue de 260,000 ha/año y entre los años 1900-2000 fue de 150,000 ha/año, bajando significativamente la deforestación. La minería y la extracción de madera ilegal, causan enorme deforestación, asimismo el establecimiento de carreteras, el sembrío de plantas para la industria (palma aceitera), el establecimiento de nuevos poblados, el trabajo petrolero, causan también deforestación en territorio Amazónico Peruano. El Perú conserva 90 millones de hectáreas de bosques en la Amazonía, que representa el 90% del bosque original, ascendiendo la deforestación hasta el año 2000 en 7.2 millones de hectáreas²³. La revista norteamericana Science mencionó que entre el 2004-2005 el Perú tuvo una deforestación de 117 000 ha, basada en imágenes satelitales que

cubrieron el 79% de la Amazonía Peruana. Satélites revelan caída de tala de bosque Amazónico Peruano. Stephen Leahy, dice: imágenes satelitales revelan caída de tala de bosque en las carreteras y explotaciones mineras. También se detectó que hay pérdidas forestales en Pucallpa por la extracción maderera y construcción de carretas, constituyendo el 86% de la deforestación en dicha zona. Estudios realizados encontraron una superficie deforestada acumulada al año 2000 para la Amazonía peruana de 7 172 553 ha, que representa el 9.25% de la superficie de los bosques amazónicos del País y el 5.58% del territorio nacional²³.

A nivel departamental, San Martín es la región que presenta la mayor superficie deforestada con 1 327 736 has (18.51%), le siguen Amazonas con 1 001 540 ha (13.96%) y Loreto con 945 642 ha (13.18%). Mientras que los departamentos que presentan menor superficie deforestada son La Libertad con 7 231 ha (0.10%), Piura con 31 737 ha (0.44%) y Huancavelica con 51 990 ha (0.72%)²⁴.

Actualmente se estima que el 10% de los bosques amazónicos peruanos ya se han perdido y la tasa de destrucción de estos bosques continua, lo cual sigue siendo promovida por políticas gubernamentales crediticias para la agricultura y la promoción indirecta de la pequeña agricultura²³. Este proceso de deforestación, sobre todo en la selva alta, según diversos estudios, son causantes del cambio del régimen hídrico en la selva baja. Este es el primer efecto que a su vez, tiene consecuencias severas en la diversidad biológica, lo cual no es valorado, ni incorporado, en las políticas de promoción de actividades alternativas al mantenimiento de los bosques en pie²³.

2.3.4. Teledetección

La teledetección es una técnica aplicada, que a través del tiempo y espacio, permite obtener información sobre los objetos que se hallan en la superficie terrestre³. Los sensores remotos usualmente registran radiación electromagnética. La radiación electromagnética (REM) es energía transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas y magnéticas. Los sensores remotos están hechos de detectores que registran longitudes de onda específicas del espectro electromagnético. El espectro electromagnético es el rango de radiación electromagnético que se extiende de las ondas cósmicas hasta las ondas de radio³ (Figura 1).

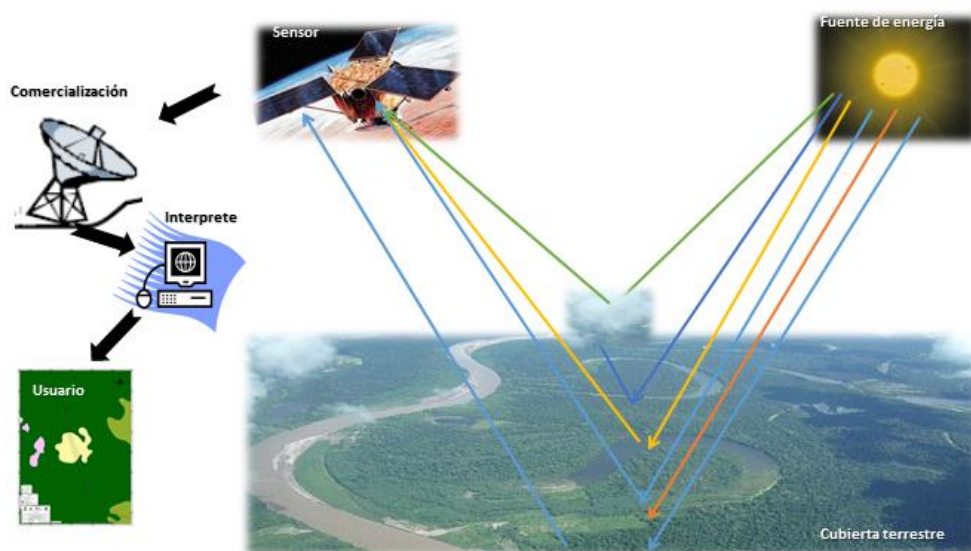


Figura 1. Adquisición de imágenes por sensores activos

Todos los tipos de cobertura del suelo, absorben una porción del espectro electromagnético y proporcionan una firma espectral única de radiación electromagnética (Figura 2). El de las longitudes de onda que son adsorbidas por ciertos elementos y de la intensidad de la reflectancia de ellos permite analizar una imagen y hacer inferencias exactas a cerca de la escena³.

Los sensores remotos pueden proveer de datos que permitan responder a las interrogantes e incertidumbres respecto al ciclo dinámico de la biomasa, ya que

posibilitan la evaluación frecuente de cambios de cobertura boscosa en grandes extensiones²⁵.

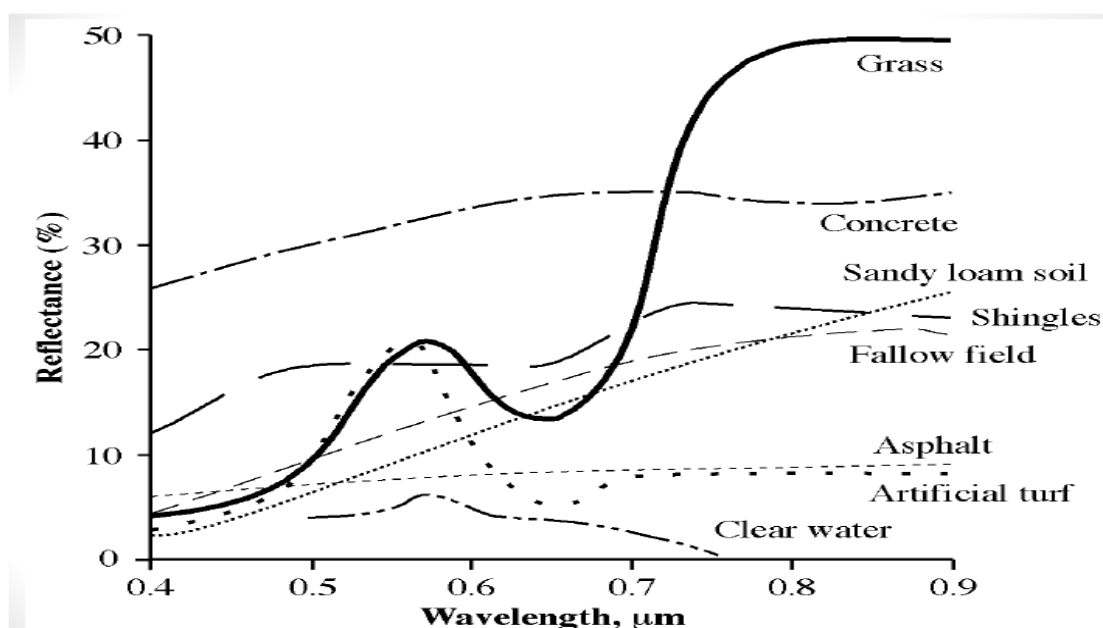


Figura 2. Firma espectral

2.3.5. Técnicas de análisis multitemporal

Una de las aportaciones más destacadas de la teledetección espacial al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos. Al tratarse de información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva las imágenes de satelital constituye una fuente valiosísima para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sean debido al ciclo estacional de las cubiertas, y a catástrofes naturales o alteraciones de origen humano³. El análisis multitemporal tiene como objetivo detectar los cambios entre dos o más fechas, para lo que suele partirse de imágenes adquiridas en distintos años que se comparan visualmente o digitalmente³.

2.3.6. Monitoreo del cambio de uso del suelo

La Tierra está cambiando a un ritmo nunca antes visto. Esta evolución requiere ser documentada mediante imágenes completas y repetibles. Las herramientas de

observación terrestre juegan un papel clave en la generación de estimaciones reales sobre los cambios del paisaje. En este sentido se requieren mediciones consistentes, fiables y precisas de la dinámica de la vegetación y uso del suelo para mejorar nuestro entendimiento en la manera que funcionan los diferentes elementos del sistema⁴. El ámbito político también requiere dicha información, ya que los acuerdos ambientales internacionales como las convenciones de Río (Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, la Convención para el Combate de la Desertificación y la Convención para la Diversidad Biológica) entre otras, reportan obligaciones en torno al cambio de la vegetación y el uso del suelo y condicionan las nuevas decisiones políticas asociadas a estas convenciones⁴.

Para aprovechar la capacidad numérica de los valores registrados en las imágenes satelitales, se han desarrollado diferentes métodos para examinar y clasificar estadísticamente los píxeles individuales, y a través de series de tiempo, caracterizar su comportamiento espectral²⁶. Los clusters pueden ser entrenados mediante el uso de datos de campo (clasificación supervisada) o estadísticos (clasificación no supervisada). Si bien es cierto, este método emplea completamente las propiedades espectrales de los píxeles, no utiliza la información contextual que sí usa la fotointerpretación; es por ello, que en años recientes surge un nuevo enfoque de clasificación más sofisticado llamado segmentación de imágenes y para el caso de imágenes de muy alta resolución espacial (tamaño del píxel menor a 5 m), se le conoce como clasificación orientada a objetos^{27 y 28}.

2.3.7. Imágenes de satélite

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos. La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de

valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan a ras de tierra. El carácter "remote" de la teledetección proporciona una visión parcial del globo desde un lugar específico. Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance²⁹.

Las imágenes satelitales registran el comportamiento de la superficie terrestre a través de diferentes regiones del espectro electromagnético, proporcionando una gran cantidad de datos espacialmente contiguos entre sí y distribuidos a lo largo de extensas áreas geográficas. Estas propiedades les confieren la capacidad de detectar, reconocer e identificar coberturas de suelo, así como medir numerosas propiedades biofísicas y bioquímicas asociadas a ellas, ofreciendo ventajas en comparación con métodos in situ, que muchas veces requieren de mediciones en terreno que pueden resultar prohibitivas a amplias escalas, debido a limitantes de accesibilidad, tiempo y recursos²⁵. A escala mundial, esta información sirve para conocer el estado y dinámica de los ecosistemas forestales y su interacción con los ciclos globales y el clima. A escala regional o nacional, el conocimiento de la cantidad de biomasa puede servir para realizar mapas o para detectar cambios en las masas forestales²⁵, al igual que para la realización de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero que deben ser realizados en el marco del Protocolo de Kioto por los países que lo ratificaron.

El valor práctico y la multiplicidad de aplicaciones de las imágenes continúan aumentando a medida que se lanzan nuevos satélites, que se suman a los que ya están en órbita. Al haber más satélites se dispone de imágenes en una cantidad creciente de tamaños de escena, resoluciones espectrales, frecuencias de paso y detalles espaciales. A la vez que estos nuevos sensores espaciales hacen que las imágenes sean más útiles que nunca, ofrecen a los usuarios actuales mayores dificultades a la hora de escoger las más adecuadas²⁹. Estas imágenes son efectivas en la mapificación de la vegetación por que permiten que un gran volumen de información referente a las características del sitio y fisonomía de la vegetación, sea interpretado en corto tiempo. La ventaja de este trabajo es que se inicia a partir de una estructuración del paisaje, tomando en cuenta todos los tipos de vegetación²⁹. El trabajo con imágenes de satélite proporciona una base cartográfica digital y un análisis semidetallado de la cobertura del suelo y sus cambios en el tiempo en base a métodos de clasificación de las imágenes utilizando un software especializado. Debido a que la calidad y accesibilidad de las imágenes están mejorando, puede esperarse muchos adelantos en el conocimiento de la vegetación, basados tanto en las imágenes como en trabajos de campo²⁹.

Lillesad y Kiefer²⁹, manifiestan que las imágenes de satélite pueden interpretarse mediante un análisis visual o en forma digital. Las técnicas de interpretación visual, sirven para evaluar cualitativamente patrones espectrales en la imagen, diferenciando tonalidades, texturas, formas y otras características. Esta técnica tiene desventajas, pues ciertas características espectrales, no son siempre evaluadas, ya que el ojo humano tiene una capacitación limitada para discernir tonalidades similares en la imagen.

Las imágenes de satélite también pueden proporcionar estimaciones de parámetros biofísicos del bosque, tales como el índice de área foliar, o la biomasa, los cuales se encuentran estrechamente relacionadas con algunas de las funciones de los ecosistemas como la productividad primaria neta³⁰. La mayor parte de los trabajos que estiman la biomasa a partir de imágenes de satélite, han usado únicamente la información espectral de las imágenes, concluyendo que una de las regiones más estrechamente relacionada con esta variable, es la región del infrarrojo medio³⁰.

2.3.8. Ajuste de modelos alométricos

En un estudio sobre la existencia de patrones alométricos en cinco especies arbóreas Fontes³¹, encontró dos patrones distintos: uno relacionado con mayor crecimiento de altura, asegurando un espacio en el dosel, y el otro más ligado al crecimiento del diámetro y copa, ocupando mayor espacio horizontal. Alves y Santos³², indican que no es posible predecir las relaciones alométricas sólo por el tamaño de los árboles adultos y su posición en el dosel. Dicha variación pudiera estar relacionada con cambios del tamaño dependientes de respuestas diferentes a la disponibilidad de luz y rasgos demográficos.

Villacorta³³, muestra que la ecuación matemática exponencial fue la que se ajustó a los tres tipos de bosque del área de estudio con sus estadígrafos del coeficiente de correlación (r) y el coeficiente de determinación (R^2). Asimismo, manifiesta que el bosque húmedo de terraza alta es el que presenta el más alto coeficiente de determinación (0.89) y el menor exhibe el bosque húmedo de colina baja (0.85); también indica que los modelos matemáticos exponencial, cuadrático y cúbico se ajustaron a la estructura diamétrica por especie para los tres tipos de bosque. Además revela que en el bosque húmedo de terraza baja, las especies *Iryanthera grandis* “cumala colorada” (1.00) y *Ruptiliocarpon caracolito* “topa caspi” (1.00) son

las que presentan el más alto grado de asociación; mientras que para el bosque de terraza alta están representados por las especies *Brosimum lactescens* “chimicua” y *Virola peruviana* “cumala blanca” con 0.99; del mismo modo las especies *Couepia bracteosa* “parinari” con 0.96 y *Eschweilera coriacea* “machimango blanco” con 0.97 son las que reportan el más alto coeficiente de determinación para el bosque de colina baja. Asimismo, la especie *Parkia igneiflora* “pashaco” con $r=0.17$ es la especie del bosque de colina baja que presenta el coeficiente de correlación menor de todo el grupo, pero 4 especies (40%) tienen un grado de asociación superior a 0.80. Igualmente las especies *Parkia igneiflora* “pashaco” ($r=0.70$) y *Tachigali tessmannii* “tangarana” (0.68) del bosque húmedo de terraza baja son las que tienen el menor coeficiente de correlación, pero 5 especies que hacen el 50% del total de este bosque presentan un coeficiente de correlación mayor a 0.82. Además en el bosque de terraza alta la especie *Parkia igneiflora* “pashaco” alcanzó el más bajo coeficiente de correlación con $r=0.71$, sin embargo 5 especies muestran un coeficiente de determinación superior a 0.82.

El DAP explica mucha de las variaciones en altura, y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizado como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Esta relación ha sido también empleada para demostrar que el diámetro se incrementa a una tasa más rápida que la altura durante el crecimiento, como lo predicho por los modelos biomecánicos³⁴.

Se obtuvieron relaciones alométricas diámetro-altura para 34 especies de árboles de la Reserva Forestal Imataca con alto valor de importancia, para ser incorporadas al modelo de base individual para simular el establecimiento, crecimiento y mortalidad de árboles en la Reserva. Las alometrías varían para los distintos grupos funcionales, revelando relaciones alométricas asociadas a las características de

tolerancia a luz y altura máxima de las especies. Este resultado permitió generar prototipos por grupo ecológico que pueden ser usados para revelar patrones generales de crecimiento y facilitar las predicciones acerca del desarrollo del bosque³⁵.

Para Swaine y Whitmore³⁶, en bosques con alta diversidad de especies, los diferentes modelos pueden ser simplificados por agrupamiento de especies estableciendo criterios adecuados. Aunque esta simplificación reduce el contenido de información, revela los patrones generales y facilita las predicciones acerca del desarrollo del bosque.

CAPITULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La provincia de Alto Amazonas se ubica al suroeste del departamento de Loreto. Limita por el noreste con la provincia de Loreto; por el este con las provincias de Loreto y Requena; por el sur con las provincias San Martín y Lamas, del departamento San Martín; y por el oeste y noroeste con las provincias de Moyabamba y Datem del Marañón. Tiene una superficie aproximada de 1 958 133.5 ha que representa el 1.57% del territorio nacional y el 5.32% del departamento de Loreto. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 05° 53' 34" de Latitud Sur y 76° 06' 36" de Longitud Oeste, a 635 km de vía fluvial al suroeste de la ciudad de Iquitos (Anexo 01)³⁷.

Vegetación

El territorio de la provincia Alto Amazonas presenta cuatro grandes paisajes de vegetación. La mayor extensión comprende la llanura amazónica con bosques con relieves entre planicies y colinas. Seguido de las comunidades vegetales en humedales estacionales y pantanosos con herbazales, aguajales y renacales. Luego, el sector de piedemonte y montañas subandinas por el lado occidental hacia las montañas límite con San Martín y también, en amplitud considerable, las áreas deforestadas o antropogénicas, con cultivos y diversos estadios de "purmas"

Se han caracterizado 15 tipos de vegetación natural y un complejo de vegetación conformado por cultivos de período vegetativo corto, pastizales, frutales y vegetación sucesional de regeneración o "purmas". En la vegetación natural, las comunidades laterales a los ríos y las pantanosas son los más destacables, como los aguajales, pantanos "renacales" y herbazales. También son amplios e importantes

ecológicamente los bosques inundables y vegetación riparia por aguas negras y mixtas, con influencias de los substratos volcanoclásticos del abanico de Pastaza; los bosques deciduos de colinas altas, con substrato arenoso como continuidad de las montañas de Sierra del Divisor; los bosques esclerófilos, tipo “varillales”, de las inmediaciones de Jeberos y las planicies húmedas con palmares mixtos³⁷.

Zona de vida

El área de estudio, según el esquema de clasificación de Holdridge³⁸, pertenece a la formación de bosque húmedo Tropical (bh-T).

Temperatura

La temperatura media anual fluctúa entre los 19°C en las partes altas (distrito de Balsapuerto) hasta 27°C en las partes de selva baja (distritos de Lagunas, Yurimaguas, Santa Cruz y Jeberos)³⁷.

Precipitación

La precipitación pluvial anual fluctúa entre los 1 900 mm y 2 800 mm. Los meses con mayor presencia de lluvias van de enero a marzo, con registros de 246.7 mm mensual; siendo la estación seca de julio a agosto, donde se registra 96.8 mm por mes. La velocidad del viento alcanza 8.6 km/hora, con dirección predominante sudeste. Los mayores valores de humedad relativa media se presentan en los meses de marzo-abril, con un 88% en promedio y los mínimos valores entre agosto-octubre con 79%. El régimen de evaporación media es de 778.5 mm, relativamente bajo para selva. En la parte oeste, el relieve presenta elevaciones máximas de hasta los 2 100 msnm cercanas a los distritos de Barranca, Balsapuerto y Yurimaguas, el resto de la provincia es considerada selva baja, con altitudes menores a los 500 msnm³⁷.

Suelos

El análisis de los suelos de la provincia Alto Amazonas nos muestra que de acuerdo a su origen, se ha determinado cuatro grupos de suelos: aluviales recientes (derivados de sedimentos fluviónicos recientes y ubicados en terrazas bajas, distribuidos a lo largo de los ríos principales); aluviales antiguos (ubicados en terrazas altas y medias); colinas altas y bajas denudacionales y montañas estructurales. Taxonómicamente se han identificado cuatro órdenes de suelos; entisoles, inceptisoles, histosoles y ultisoles; de las cuales se determinaron siete subórdenes, nueve grandes grupos y nueve subgrupos de suelo. Edáficamente se identificaron 21 series de suelos divididos en 18 consociaciones y dos asociaciones de suelos, además se ha reconocido una unidad de áreas misceláneas³⁷.

Hidrología

La red hidrológica de la provincia Alto Amazonas, comprende principalmente el tramo del río Huallaga en su parte baja, desde el sector de Yurimaguas hasta el distrito de Lagunas. Este río recibe por la margen izquierda las aguas de los ríos Caynarachi, Shanusi, Paranapura, Sapote, Aypena, que descienden de la cordillera Cahuapanas. Por la margen derecha al río Chipurana, Shishinahua y a las quebradas Cuiparillo y Shishiyacu, y cochas anexas como Naranjal, Sanango entre los principales. En las cercanías de la localidad de Lagunas, el río Huallaga recibe las aguas del río Aypena. La vaciante se inicia en abril y dura hasta octubre y la creciente va de noviembre a marzo³⁷.

Fisiografía

Se identificaron dos provincias fisiográficas. La cordillera Andina (subandina) con un relieve montañoso muy disectado y la cuenca de sedimentación del Amazonas, con un relieve de plano a colinoso. La cordillera Andina (174.413 ha; 8.69%),

conformado por la cordillera Subandina, con temperatura que varía de 19° a 21° C, presenta una precipitación anual cercana a los 1 400 mm. Ubicadas a altitudes de 200 a 2 100 msnm. Comprende dos grandes paisajes: El relieve montañoso (135.850 ha; 6.78%), que consta de dos paisajes: montañas altas y montañas bajas, las mismas que incluyen siete subpaisajes determinados por la pendiente y grado de disección y el relieve colinado de la cordillera Subandina (38.563 ha; 1.91%), que consta de un paisaje: colinas altas y colinas bajas, las mismas que incluye seis subpaisajes determinados por la pendiente y grado de disección.

La cuenca de sedimentación del Amazonas (1 802 762 ha; 89.6%), con temperatura media anual que varía de 23° a 28°C y precipitación media anual de 2 000 a 2 400 mm, ubicadas a altitudes de 120 a 200 msnm. Se pueden identificar tres grandes paisajes. La llanura aluvial de los ríos Huallaga, Marañón y afluentes (485 982 ha; 24.24%), conformado por cinco paisajes que incluyen desde islas hasta terrazas bajas y diez subpaisajes definidos por su patrón de drenaje. El relieve plano-ondulado (823 894 ha; 41.11%), conformado por dos paisajes de terrazas medias y altas; la misma que incluye doce subpaisajes determinado por el grado de disección y el patrón de drenaje y el relieve colinado (492 886 ha; 24.61%), constituido por dos paisajes de colinas baja. Incluye siete subpaisajes definidos por su grado de disección³⁷.

Geología

Se han identificado 21 unidades geológicas, que datan del Jurásico Superior como la Formación Sarayaquillo y prosiguen con secuencias marinas-continenciales del Grupo Oriente del Cretáceo Inferior, y marinas de la Formación Chonta del Cretáceo Medio. Las características geomorfológicas de la provincia están vinculadas a la formación de las morfoestructuras: cuenca del Marañón, cuenca del Ucayali, arco de

Iquitos y cordillera Subandina, pertenecen a la cuenca del antearco andino que constituye la transición entre la cordillera Andina y el llano amazónico. Sobre esas morfo estructuras iniciales (terciarias) los procesos dinámicos han ido modelando el relieve hasta la actualidad y continúan modificando el paisaje. Los procesos que tienen mayor relevancia en la provincia Alto Amazonas son los pluvio-fluviales, los cuales por su naturaleza son de gran dinámica espacial y temporal. A partir de ellos, se forman las grandes áreas inundadas que caracterizan gran parte de este territorio. En su geomorfología hay un predominio de las unidades de relieve de origen fluvial, islas, llanuras de inundación, llanuras no inundables, planicies erosivas, cubetas fluvio-lacustres, cubetas lacustre-palustre y, en menor proporción, colinas y montañas de origen estructural generadas por levantamientos tectónicos vinculados a la formación de la cordillera Andina³⁷.

3.2. Materiales y equipos

Imágenes de satélite Landsat 5TM, coberturas en formato raster de los valores de biomasa con resolución de 1 km y 500 m, coberturas vectoriales de deforestación desde el año 2000 al 2014, coberturas vectoriales de límites político administrativos del departamento de Loreto, CLASlite 3,1, ArcGIS 10.2.2, computadora y útiles de escritorio en general.

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptivo-correlacional de nivel básico.

3.4. Población y muestra

La población estuvo constituida por la biomasa de todas las especies forestales existentes en los bosques de la provincia del Alto Amazonas. La muestra fue igual a la población y por lo tanto no se necesitó de ningún diseño de investigación.

3.5. Procedimientos, técnicas y recolección de datos

3.5.1. Procedimiento

Para la cuantificación de la deforestación en el presente trabajo de investigación se utilizó la base de datos proporcionada por el Ministerio del Ambiente que maneja el Sistema de Análisis Landsat de Carnegie-Lite (CLASlite)⁶; mientras que para estimar la biomasa se usó la base de datos cartográfica en formato raster de Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000¹ y Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps², considerados por el IPCC (2003), como reportes de Nivel 1 (TIER 1) y con alto soporte científico.

3.5.2. Procesamiento de la información

- Análisis de deforestación

Se utilizó El Sistema de Análisis Landsat de Carnegie - Lite (CLASlite) proporcionado por el Ministerio del Ambiente⁶, que es un paquete de software diseñado para la identificación altamente automatizada de la deforestación y la degradación de bosques a partir de imágenes de satélite de sensores remotos. Ofrece un enfoque de mapeo satelital automatizado para determinar uno de los más importantes componentes de la estructura del bosque: la cobertura fraccional del dosel del bosque, vegetación muerta y superficies expuestas. Estas coberturas fraccionales son las determinantes principales de la composición, fisiología, estructura, biomasa y procesos biogeoquímicos del ecosistema. El análisis de la cobertura fraccional es el corazón de CLASlite, es lo que lo hace una herramienta eficaz, estable y de base biofísica que permitió un monitoreo de bosques rápido con rastreo de errores (Figura 3). El sistema CLASLite se resume de la siguiente manera:

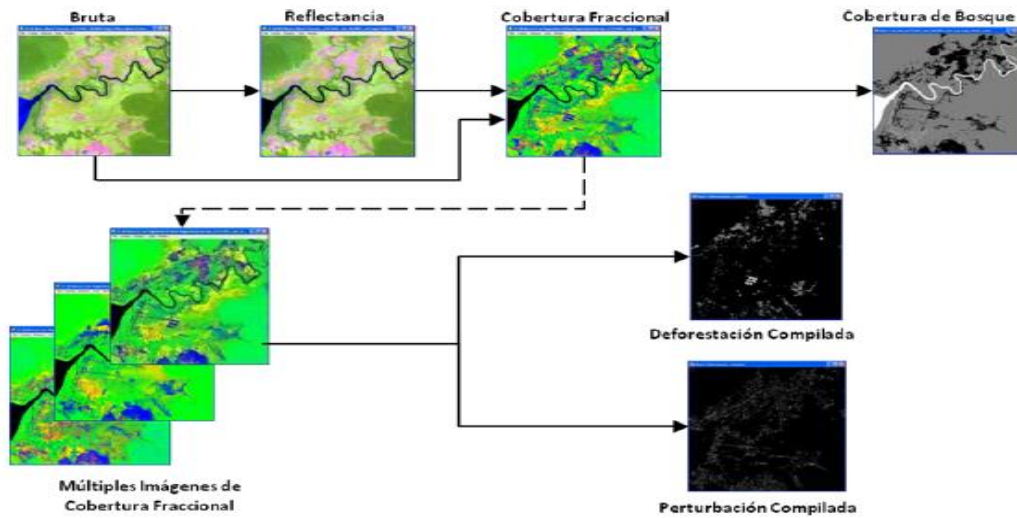


Figura 3. Proceso para la obtención de datos de deforestación mediante el software CLASLite

- Análisis de la biomasa

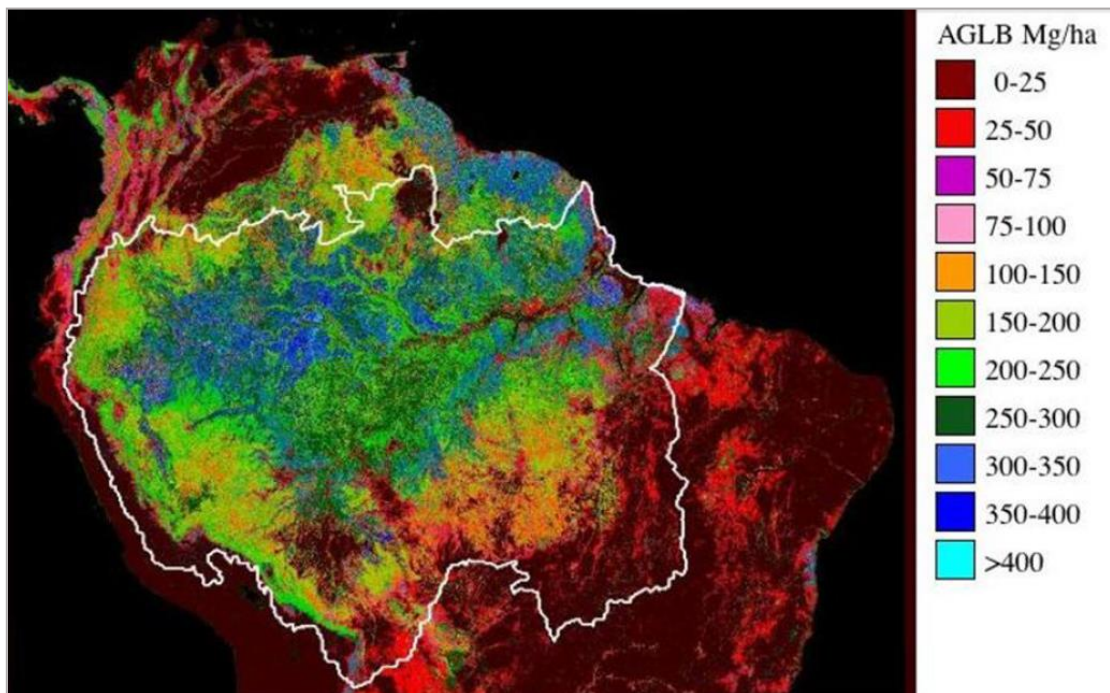


Figura 4. Mapa de distribución de biomasa en 11 clases

Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000¹, es un conjunto de datos que proporciona una imagen que contiene la distribución espacial de la biomasa forestal sobre el suelo de la cuenca del Amazonas. Este producto obtuvieron utilizando una metodología basada en una combinación del mapa de

cobertura terrestre, métricas derivadas de sensores remotos y más de 500 parcelas forestales distribuidas en la cuenca¹. Este mapa de distribución se produjo en ENVI en formato TIFF y contiene la biomasa forestal dividida en 11 clases (Figura 4) a 1 km de resolución espacial con una precisión razonable (mayor al 70%). Los datos de teledetección y de campo utilizados en este producto fueron recogidos desde el año de 1990 al 2000. El mapa de la biomasa representa la distribución promedio de biomasa sobre la cuenca del Amazonas durante este período.

El segundo insumo para este análisis denomina Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps², permitió estimar la densidad de carbono (Mg C/ha-1) sobre el suelo para la vegetación leñosa viva para los pan-trópicos (incluyendo tropicales de África, América y Asia) con una resolución espacial de 500 m utilizando una combinación de datos de sensores remotos y de campo (para la periodo 2007-2008) (Figura 5).

En concreto, se utilizó el satélite basado en los datos de light detection and ranging (LIDAR) adquiridas a una resolución espacial de 70 m, junto con 500 m de resolución espacial de datos de imágenes multiespectrales calculados a reflectancia y otras capas de datos geospaciales. Usando una calibración multi-escala y mapeo estratégico, se produjo el primer mapa de la biomasa aérea a 500 m de resolución para los pan-trópicos. Las mediciones de campo fueron recogidas de los bosques a través de África tropical, América y Asia (2008-2010) en los puntos de muestra co-ubicada con LIDAR 'huellas' utilizando un protocolo de muestreo diseñado específicamente para la integración óptima de los datos de campo y de satélite. La forma de onda para las mediciones LIDAR fueron adquiridos por el Altímetro Láser de Geociencias Sistema (GLAS) a bordo del satélite ICESAT de la NASA (ICESat; Ref. 16). Se proporcionaron datos de reflectancia de la superficie por el Moderate

Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo de los satélites de la NASA Terra y Aqua y la elevación digital de los datos se obtuvieron como parte de Radar Topography Shuttle de la NASA Mission (SRTM). Sin embargo es importante mencionar que estos nuevos conjuntos de datos de las reservas de carbono sobre la tierra permitirán a los países tropicales satisfacer sus obligaciones de reporte de información (es decir, Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Nivel 3) con mayor precisión.

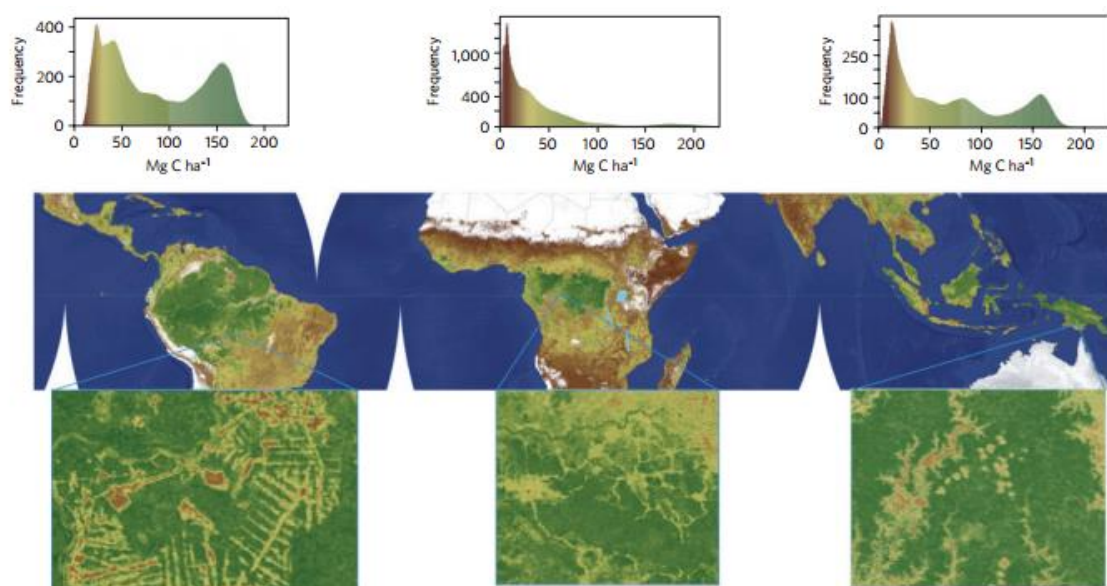


Figura 5. Mapa de carbono

3.5.3. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia del Alto Amazonas

Para cuantificar la deforestación de los bosques de la provincia del Alto Amazonas se tuvo en cuenta los siguientes pasos que a continuación se detalla:

- Estandarización de la información

Los diferentes formatos utilizados en los datos cartográficos (principalmente los referidos a la biomasa) no pudieron ser analizados de manera eficiente por lo que fue necesario realizar una estandarización de la información. Teniendo en cuenta

que los formatos vectoriales son más flexibles desde el punto de vista de rapidez de análisis (memoria de las computadoras) y mejores para la base de datos, optamos por normalizar la información a este formato. Para la estandarización se hizo uso del software ArcGIS 10.2.2, utilizando el conjunto de herramienta **conversión tool – from raster – raster to polygon**. Con este procedimiento se obtuvieron los valores de biomasa vectorizados.

- Unión espacial de la información

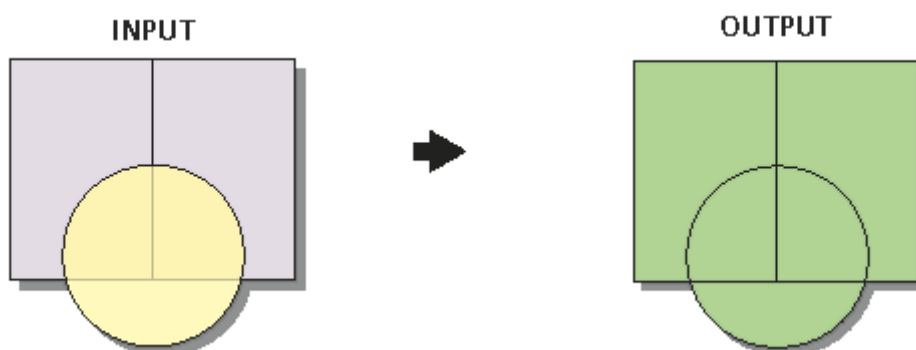


Figura 6. Modelo lógico de unión espacial (ESRI, 2014) donde el círculo de color amarillo representa la información de la deforestación y los rectángulos grises representan la información de biomasa

La información espacial estandarizada permitió sobreponer la información de biomasa al año 2000¹ y biomasa al año 2007²; conjuntamente con la información de deforestación en diferentes periodos entre el año 2000 al 2014⁶. Ese proceso se logró gracias al uso del conjunto de herramientas del **Arctoolbox, Analysis tools – Overlay – Union** (Figura 6). Con esta unión espacial se estimó los valores de biomasa que se perdieron por cada hectárea de deforestación en los diferentes periodos evaluados.

3.5.4. Incremento de la deforestación

Para determinar el incremento de la deforestación se realizó en primer lugar el cálculo de la deforestación anual en base al total de la deforestación dada en cada

periodo entre los años de tiempo que comprendió el periodo, teniendo en consideración que la amplitud de los periodos no fue homogénea.

$$\frac{\text{Deforestación total del periodo (ha)}}{\text{año}_{\text{inicial}} - \text{año}_{\text{final}}}$$

El incremento de la deforestación es el resultado de la acumulación de la deforestación anual (o por periodo, de ser el caso reemplazar año por periodo).

$$\text{Deforestación año}_n + \text{Deforestación año}_{n+1}$$

3.5.5 Cuantificación de la pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia del Alto Amazonas

Se calculó el área en hectáreas de cada polígono resultante de la unión de la información de deforestación y biomasa. Teniendo en cuenta que los valores de biomasa para ambos casos (Saatchi¹ y Baccini²) son expresados en Mg/ha (equivalencia tn/ha) la fórmula quedó de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida de Biomasa} = \text{Área deforestada (ha)} * \text{biomasa} \left(\frac{\text{Mg}}{\text{ha}} \right)$$

Obteniéndose de esta manera el total en peso de biomasa perdido por deforestación expresado en Mg (tn).

3.5.6. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa en los bosques de la Provincia Alto Amazonas

Obtenido la cuantificación de la deforestación y la pérdida de biomasa, se correlacionó en un eje de coordenadas la deforestación (X) versus la pérdida de biomasa (Y), con sus respectivas pruebas estadísticas del coeficiente de correlación (r) y determinación (R²).

Para la toma de decisiones, se optó por la ecuación alométrica que presentó el mayor R², en el caso de igualdad, el criterio que se tomó en cuenta fue aquel que

mostró menor error estándar, de mantenerse la coincidencia se eligió por el modelo que tuvo la mejor distribución de residuos, de persistir la paridad se asumió aquella ecuación que fue más fácil de trabajar.

Modelos alométricos que se probaron para determinar la relación de la deforestación y la pérdida de biomasa:

Cuadro 1. Modelos alométricos

Nº	MODELOS ALOMÉTRICOS	ECUACIONES
1	LINEAL	$Y = b_0 + (b_1 \times t)$
2	LOGARITMICA	$Y = b_0 + (b_1 \times \ln(t))$
3	INVERSA	$Y = b_0 + (b_1 / t)$
4	CUADRATICA	$Y = b_0 + (b_1 \times t) + (b_2 \times t^2)$
5	CUBICA	$Y = b_0 + (b_1 \times t) + (b_2 \times t^2) + (b_3 \times t^3)$
6	COMPUESTA	$Y = b_0 \times (b_1^t)$
7	POTENCIAL	$Y = b_0 \times (t^{b_1})$
8	S-CURVA	$Y = e^{(b_0 (b_1 / t))}$
9	CRECIMIENTO	$Y = e^{(b_0 (b_1 \times t))}$
10	EXPONENCIAL	$Y = b_0 (e^{(b_1 \times t)})$
11	LOGISTICA	$Y = 1 / (1/u + b_0 (b_1^t))$

Donde:

b_0 = Constante (Parámetros a estimarse)

b_1 = Constante (Parámetros a estimarse)

b_2 = Constante (Parámetros a estimarse)

b_3 = Constante (Parámetros a estimarse)

$\ln$ = logaritmo (Parámetros a estimarse)

3.6. Técnica e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se utilizó para la recolección de datos fue básicamente las imágenes satelitales y el instrumento es la base de datos donde se registró la información de la deforestación y la biomasa.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS

4.1. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia de Alto Amazonas

En el periodo de estudio del año 2000 – 2014 se deforestaron un total de 79 723.01 ha de bosque de la provincia Alto Amazonas, lo que representa el 4.07% de su superficie total que asciende a 1 958 133.5 ha. En la figura 7 se muestra la deforestación total por distrito de la provincia del Alto Amazonas, en la cual es posible verificar que el distrito de Yurimaguas obtuvo la mayor superficie deforestada con 41 610.2 ha, que constituye el 38.58% de la superficie total del distrito (145 617.3 ha); mientras que la menor superficie muestra el distrito de Lagunas con 4 154: ha que representa el 0.69% del total de la superficie que asciende a 603 391.4 ha.

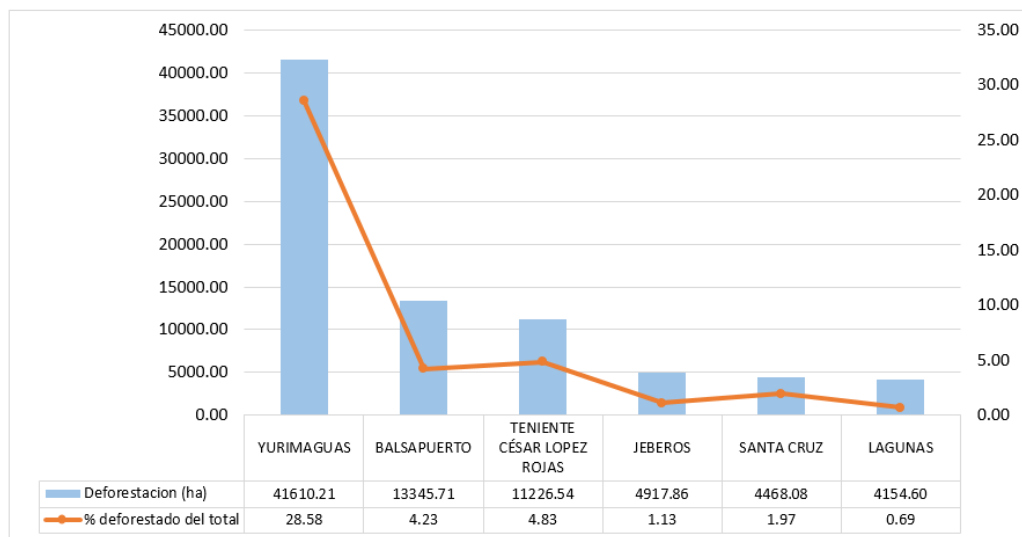


Figura 7. Deforestación total por distrito de la provincia del Alto Amazonas para el Periodo 2000-2014

4.2. Incremento de la deforestación del área evaluada

En la figura 8 se presenta el incremento de la deforestación por año del área evaluada, en la cual se aprecia que el incremento hasta el año 2010 es casi

constante, mientras que a partir del año 2010-2011 se muestra el más alto incremento con 62 811.70 ha/año, continuando casi invariable hasta el año 2014 con 79 723 ha/año; además. También, se indica que el incremento de la deforestación en el periodo total (2000-2014) fue de 75 196.30 ha y en promedio anual para es de $5\,314.87 \pm 2\,987.22$ ha/año.

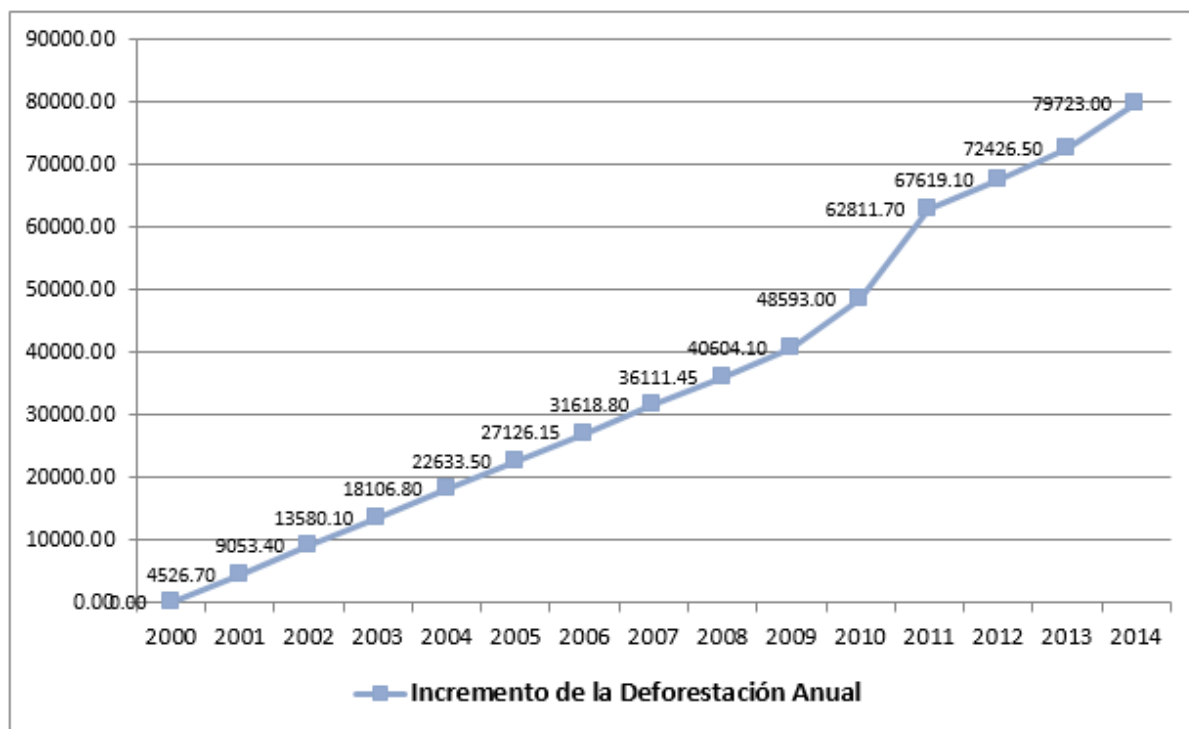


Figura 8. Incremento de la deforestación anual del área evaluada

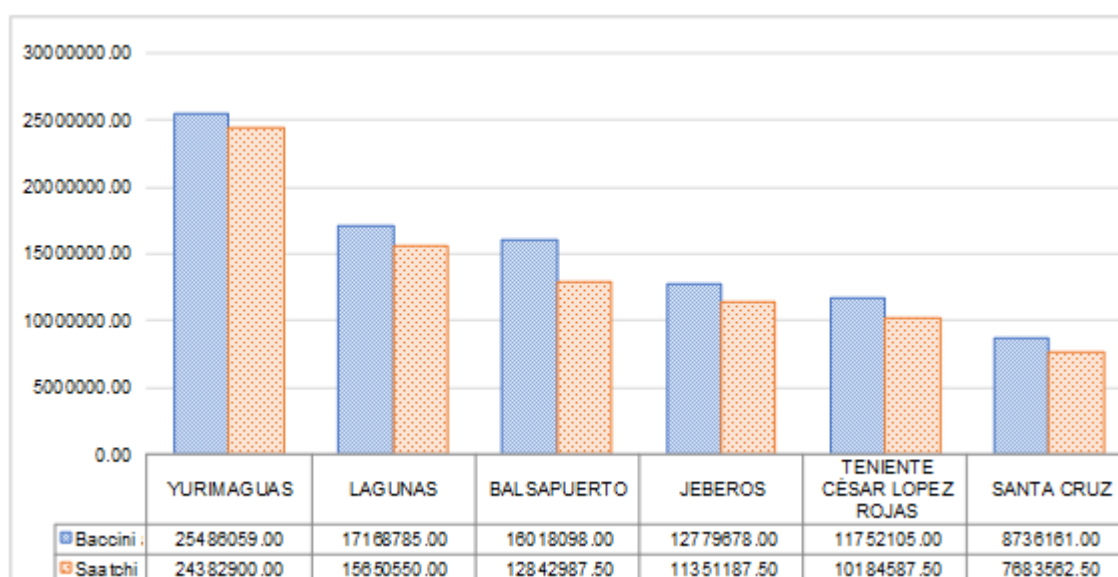
4.3. Cuantificación de la pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 en los bosques de la provincia de Alto Amazonas

4.3.1. Cuantificación de biomasa del área evaluada

La biomasa almacenada en los bosques de la provincia del Alto Amazonas se presenta en el cuadro 2, donde es posible apreciar que asciende a un total de 91 940 866 tn según Baccini²; mientras que 82 095 775 tn reporta Saatchi¹. Además, la biomasa por hectárea almacenada de acuerdo a Baccini² es de 245.69 ± 79.41 tn/ha y 219.38 ± 94.48 tn/ha le corresponde a Saatchi¹.

Cuadro 2. Biomasa almacenada en los bosques de la provincia de Alto Amazonas

Insumo	Biomasa (tn/ha)	Desviación estándar	Biomasa total (tn)
Amazon basin aboveground live biomass distribution map: 1990-2000 ² .	245.69	79.41	91 940 886.00
Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps ¹ .	219.38	94.48	82 095 775.00
Promedio	232.53	86.95	87 018 330.50

**Figura 9.** Biomasa total almacenada por distrito de la provincia del Alto Amazonas para el periodo 2000-2014

La biomasa total almacenada por distrito se exhibe en la figura 9, donde se puede comprobar que el distrito de Yurimaguas muestra el más alto valor de biomasa total con 25 486 059 tn según Baccini²; mientras que 24 382 900 tn obtuvo Saatchi¹; asimismo, el distrito Teniente César López Rojas muestra el menor valor de biomasa con 11 752 105 tn de acuerdo a Baccini² y 10 184 587.50 tn le concierne a Saatchi¹. En la figura 10 y 11 se presenta la biomasa total por hectárea y por distrito del área evaluada, en la cual es preciso afirmar que el distrito de Jeberos reporta el más alto valor con 288.94 tn/ha; y el menor valor muestra el distrito de Balsapuerto con 202.64 tn/ha según Baccini²; mientras que para Saatchi¹, el mayor valor de biomasa

exhibe el distrito de Lagunas con 262.17 tn/ha y el menor valor le corresponde al distrito de Balsapuerto con 189.17 tn/ha.

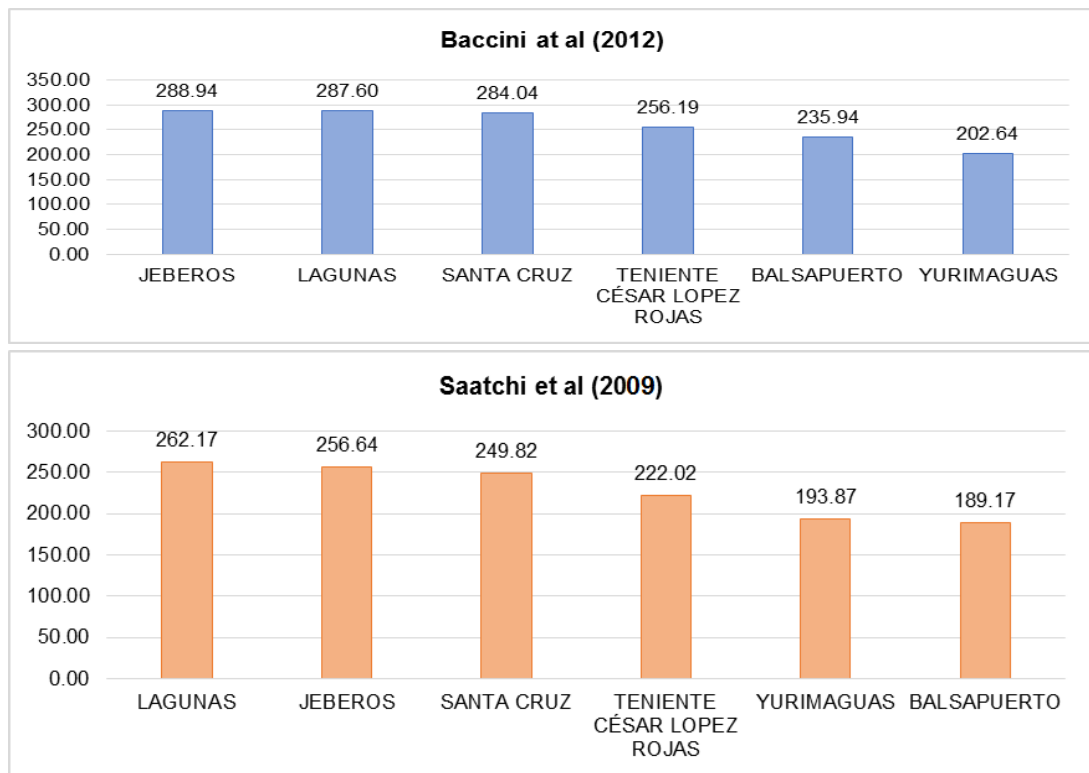


Figura 10. Biomasa total por hectárea y por distrito reportado según a) Baccini² y b) Saatchi¹.

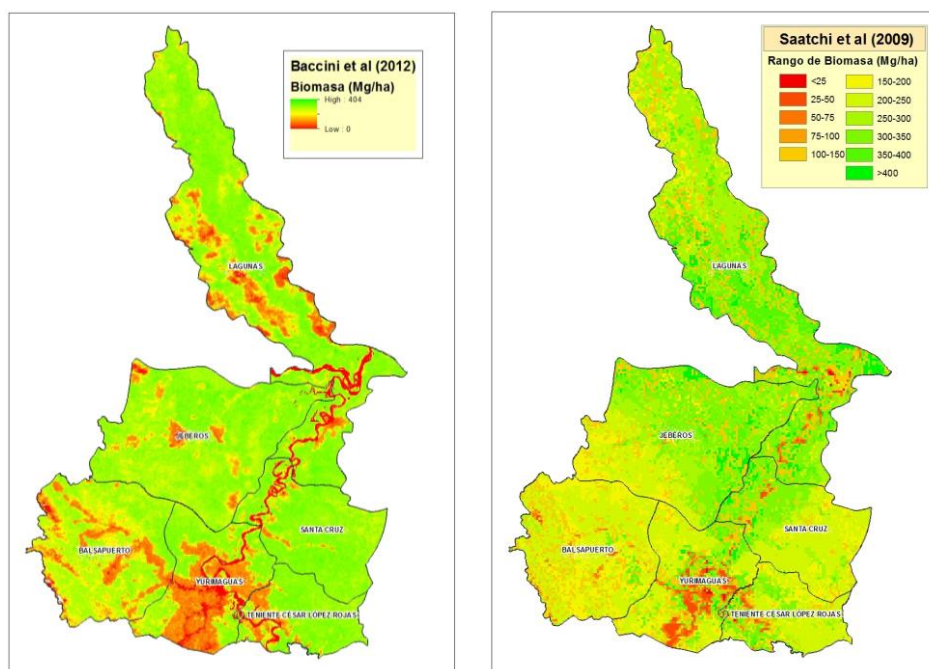


Figura 11. Distribución de la biomasa por hectárea y por distrito reportado según a) Baccini² y b) Saatchi¹.

4.3.2. Pérdida de biomasa del área evaluada

Referente a la biomasa total registrada por Baccini² (91 940 886.00 tn), La biomasa aérea pérdida es de 13 070 707.74 tn para el área evaluada, que representa el 14.22% de la biomasa total reportado por dicho autor; mientras que de la biomasa total calculada a través de los datos de Saatchi² (80 095 775.00 tn), la biomasa aérea perdida es de 16 753 500.64 tn, que constituye el 20.41% (Figura 12).

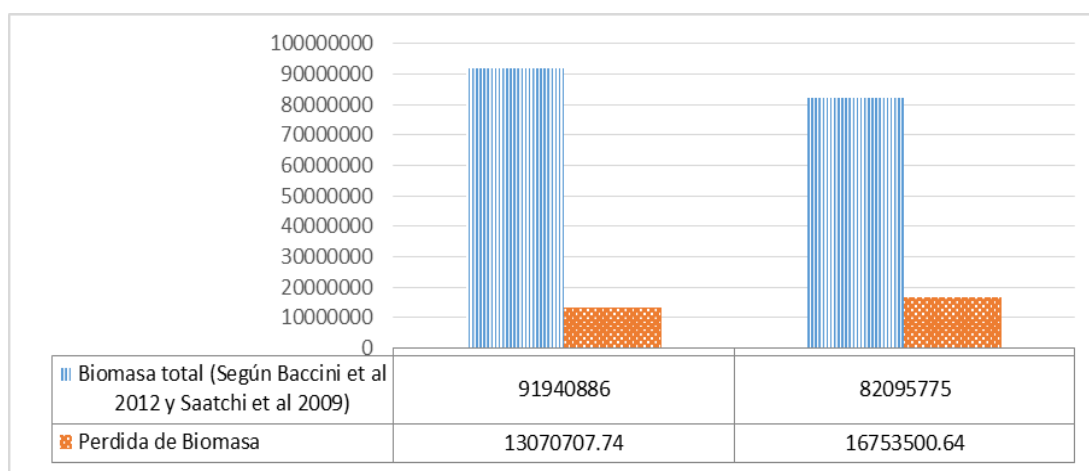


Figura 12. Pérdida de biomasa total calculada

Cuadro 3. Pérdida de biomasa en toneladas por distrito del área evaluada

Distrito	Biomasa		Pérdida de biomasa (tn)		% Pérdida de biomasa	
	Baccini ²	Saatchi ¹	Baccini ²	Saatchi ¹	Baccini ²	Saatchi ¹
Yurimaguas	25486059.00	24382900.00	6567217.44	8308016.26	25.77	34.07
Teniente César Lopez Rojas	11752105.00	10184587.50	2134099.96	2519663.17	18.16	24.74
Balsapuerto	16018098.00	12842987.50	2127889.50	2544104.32	13.28	19.81
Santa cruz	8736161.00	7683562.50	877345.33	1149736.06	10.04	14.96
Jeberos	12779678.00	11351187.50	790816.87	1188345.32	6.19	10.47
Lagunas	17168785.00	15650550.00	573338.64	1043635.50	3.34	6.67
Total general	91940886.00	82095775.00	13070707.74	16753500.64		

*Calculado a partir de la biomasa total según Baccini² y Saatchi¹.

En el cuadro 3 se presenta la pérdida de biomasa por distrito del área evaluada; según los datos de biomasa total registrados por Baccini² y Saatchi¹, indican que el

distrito que perdió mayor biomasa aérea a causa de la deforestación fue Yurimaguas, con 6 567 217.44 tn y 8 308 016.26 tn que representan el 25.77% y 34.07% del total; también manifiestan que el distrito de Lagunas muestra la menor pérdida de biomasa con 573 338.64 tn, (3.34%) y 1 043 635.50 tn (6.67%) respectivamente.

En la figura 13 se ostenta en forma gráfica la distribución de la pérdida de biomasa de los 6 distritos evaluados, mientras que en la figura 14 se muestra la distribución espacial de la pérdida de biomasa en cada uno de los 6 distritos evaluados, a través de los cuales es posible afirmar que Yurimaguas es el distrito que exhibe la más alta pérdida de biomasa a causa de la deforestación reportado por Baccini² y Saatchi¹, con 6 567 217.44 tn y 8 308 016.26 tn respectivamente, le sigue en importancia el distrito de Teniente César López Rojas, Balsapuerto, Santa Cruz, Jeberos y finalmente el distrito de Lagunas luce la menor pérdida de biomasa del área evaluada con 3.34% y 6.67%.

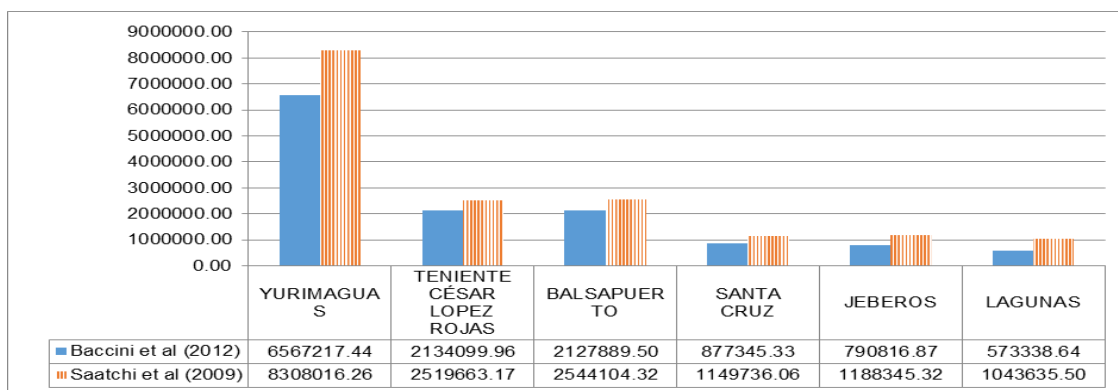


Figura 13. Pérdida de biomasa en toneladas por distrito

En la figura 15 se expone la pérdida total de biomasa por periodo, cabe señalar que los periodos de pérdida analizados están en base a los periodos de deforestación de trabajo y al periodo de datos de biomasa total (91 940 886.00 tn); además es preciso indicar que la evaluación realizada por Baccini², considera a partir del periodo 2005-2009 ya que el periodo del dato es a partir del año 2007; asimismo, afirma que en el

periodo 2005-2009 se perdió aproximadamente 3 866 053.84 tn de biomasa que representa el 4.20% del total, también asevera que en el periodo 2009-2010 se perdió 1 791 814.63 tn que constituye el 1.95%; mientras que en el periodo 2010-2011 se eliminó 3 249 429.74 tn de biomasa que representa el 3.53%; igualmente precisa que en el periodo 2011-2013 se excluyeron 2 446 530.51 tn de biomasa que constituye el 2.66% y finalmente en el periodo 2013-2014 se redujeron 1 716 879.02 tn de biomasa que representa el 1.87%.

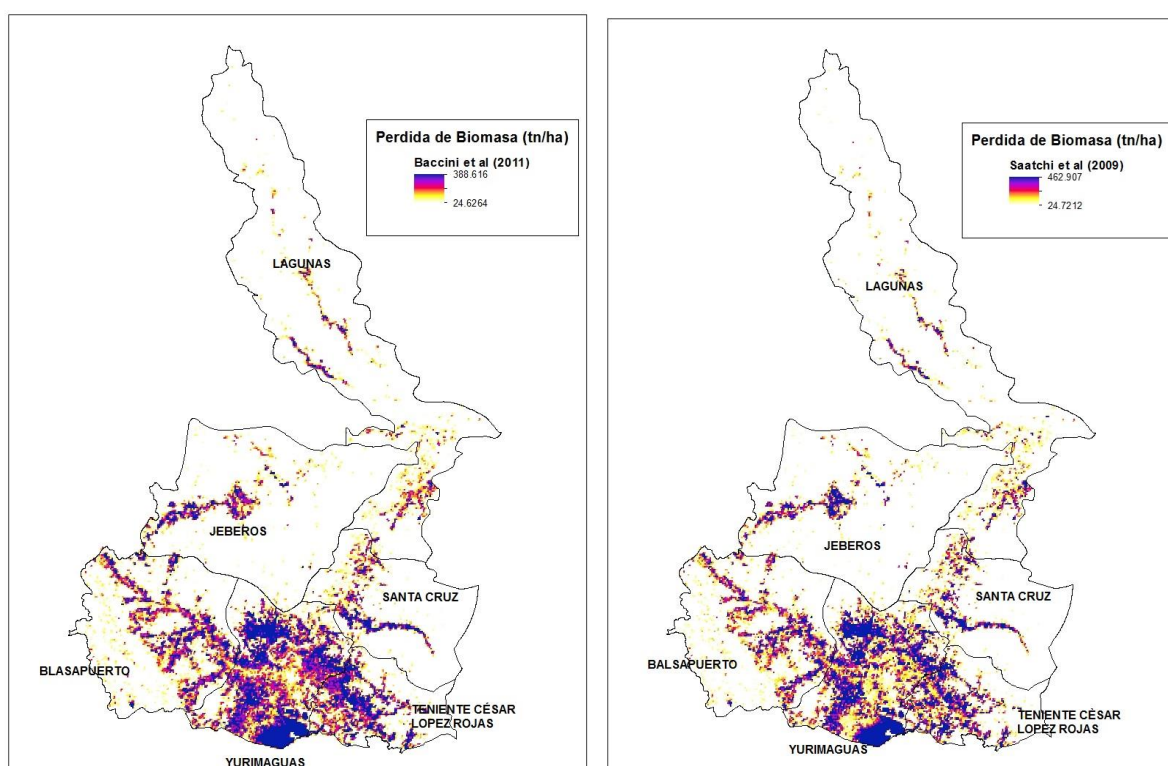


Figura 14. Distribución espacial de la pérdida de biomasa por distrito, calculados a partir de los datos de biomasa total de Baccini² y Saatchi¹.

Por el contrario, la pérdida de biomasa determinado por Saatchi¹, considera para todo el periodo de estudio (2000-2014); señala que en el periodo 2000-2005 se perdió 4 686 695.19 tn de biomasa lo que representa una pérdida de 5.71% del total (82 095 775.00 tn); en el periodo 2005-2009 se perdió 3 856 494.94 tn (4.70%); mientras que en el periodo 2009-2010 se redujeron 1 659 770.37 tn (2.02%); además en el periodo 2010-2011 se eliminaron 3 002 655.49 tn (3.66%), asimismo,

en el periodo 2011-2013 se perdieron 2 049 729.87 tn (2.50%) y por último en el periodo 2013-2014 se excluyeron 1 498 154.79 tn de biomasa (1.82%).

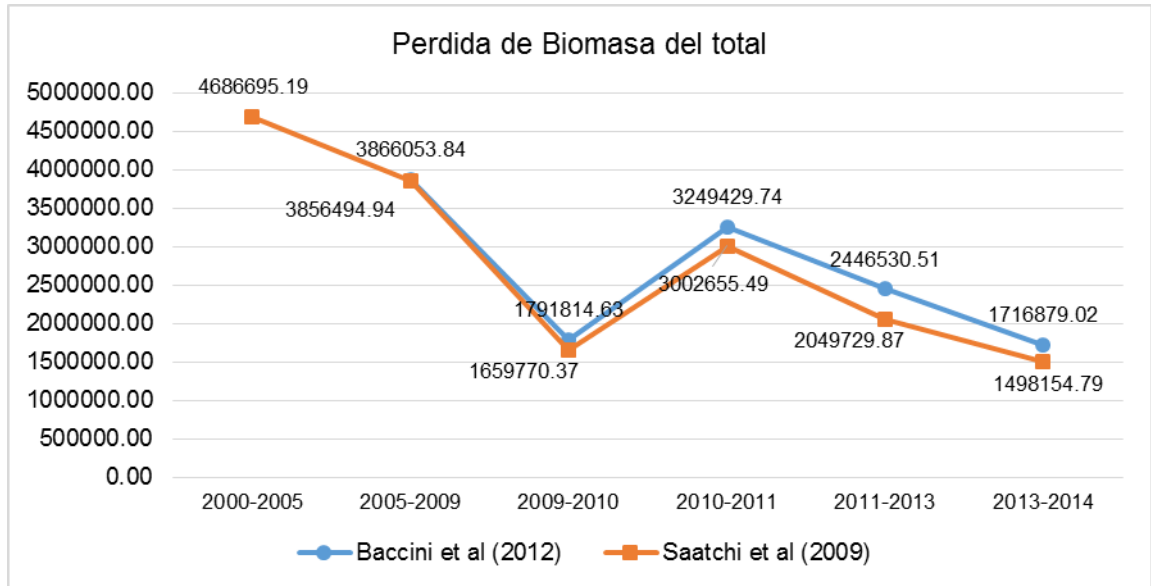


Figura 15. Pérdida total de biomasa por periodo en tn del área evaluada

4.4. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa

En el cuadro 4 se ostenta el modelo alométrico cúbico que se ajusta a los datos determinados por Baccini² y Saatchi¹ del área de estudio con sus respectivos estadígrafos del coeficiente de correlación (r) y el coeficiente de determinación (R^2). Asimismo, es posible indicar que los datos estimados por Baccini² presenta el más alto valor de coeficiente de determinación (0.98). Además en las figuras 16 y 17 se exhibe en forma gráfica el modelo que muestra mejor relación para ambas estimaciones.

Cuadro 4. Modelo alométrico que muestra mejor relación entre la deforestación y la biomasa

Autores	Ecuación	Parámetros estimados				r	R ²
		Constante	b1	b2	b3		
Baccini ²	Cúbico	39252807.84	-8069:925	.576	-1.168E-005	0.99	0.98
Saatchi ¹	Cúbico	32383038:97	-6615.174	.477	-9.586E-006	0.98	0.96

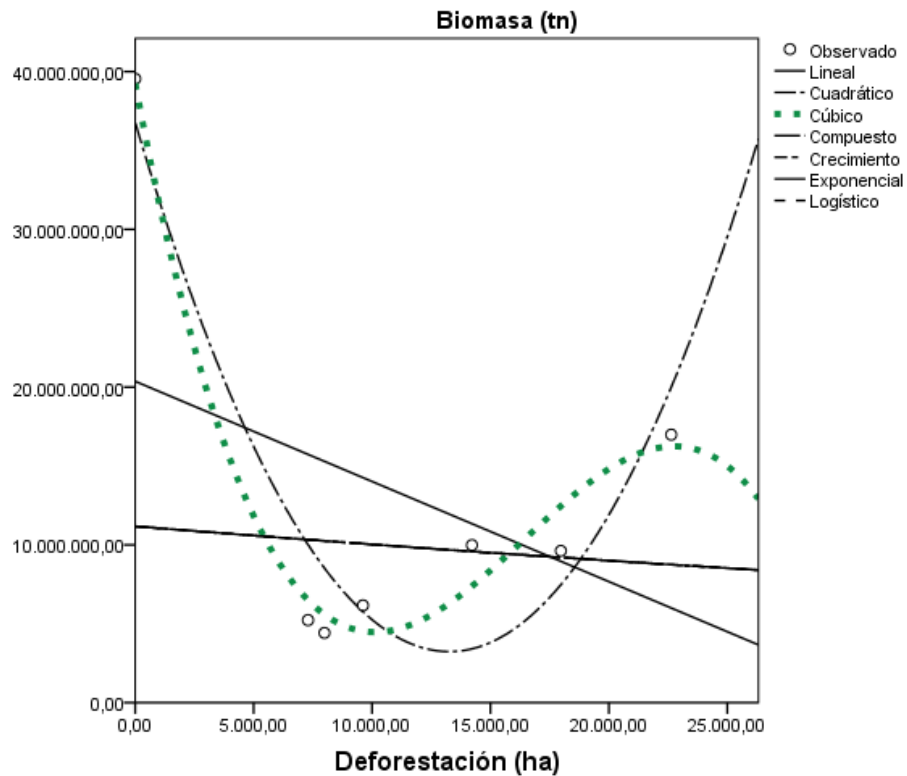


Figura 16. Modelo alométrico cúbico que presenta mejor relación de la deforestación y la biomasa según Baccini².

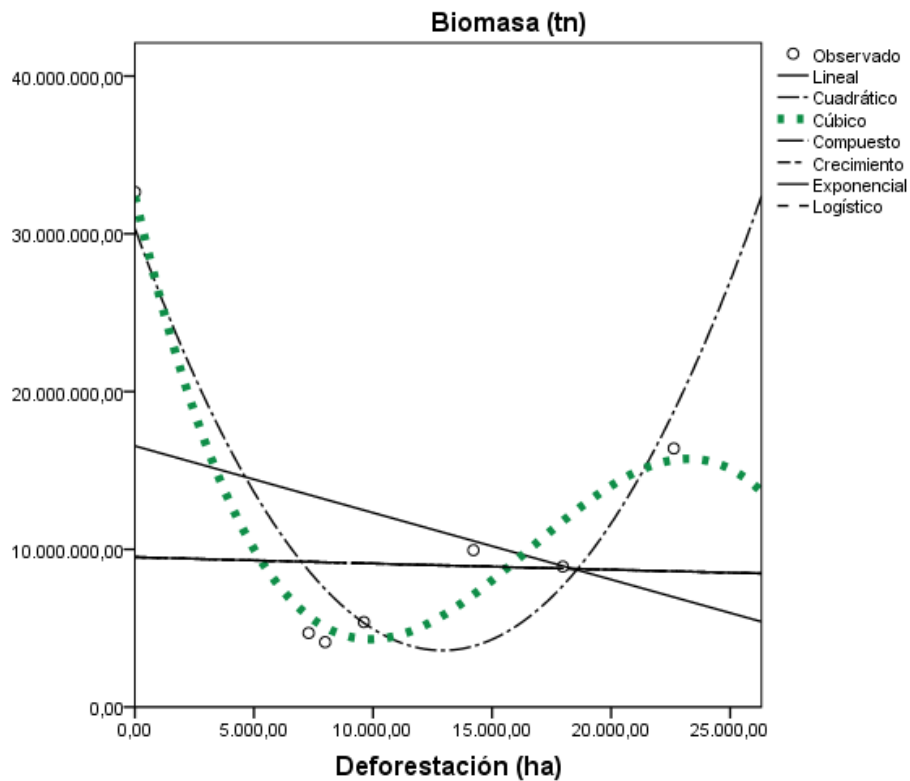


Figura 17. Modelo alométrico cúbico que presenta mejor relación de la deforestación y la biomasa según Saatchi¹.

CAPITULO V

V. DISCUSIÓN

5.1. Cuantificación de la deforestación para el periodo 2000-2014

Es común confundir la intervención al bosque con la deforestación, es así que en el primer caso, lo que se produce es una degradación de la estructura del bosque con sus impactos negativos en el suelo, agua y biodiversidad, pero sin la pérdida del bosque tropical, mientras que la deforestación es el cambio continuo en el uso de la tierra caracterizado por la pérdida del bosque tropical³.

La deforestación es uno de los problemas ambientales más serios de los últimos tiempos. Este tema se ha convertido de interés mundial debido a la importancia de los bosques y selvas por los diferentes servicios ambientales que proveen como a) producción de agua, b) almacenamiento y captura de carbono, c) conservación de la biodiversidad y d) belleza escénica. La deforestación también afecta las actividades económicas y amenaza el sustento de la vida y la integridad cultural de las personas que dependen de los bosques además de problemas como degradación de suelos e inundaciones.

La provincia del Alto Amazonas reporta en total 79 723 ha de área deforestada para el periodo 2000-2014 (Figura 7), también es posible afirmar que el distrito de Yurimaguas presenta la mayor superficie deforestada de la provincia con 41 610.2 ha, que representa el 38.58% del total del distrito que asciende a 145 617.3 ha, le sigue en importancia el distrito de Balsapuerto con 13 345.7 ha deforestadas que constituye el 4.23% de su superficie total (315 538 ha) y el distrito Teniente César Lopez Rojas con 11 226.83 ha el cual asciende a 4.83% de su superficie total (232 633.5 ha); asimismo, los distritos que muestran menor deforestación están representados por Lagunas con 4 154.6 ha, Jeberos con 4 917.9 ha y Santa Cruz

con 4 468.1 ha; los cuales representan el 0.69% (de 603 391.4 ha), 1.13% (de 434 052.4 ha) y 1.97% (de 226 900.1 ha) del total de sus superficies deforestadas respectivamente. Según el IIAP citado por Mesía²³, indica para un estudio sobre deforestación en el eje vial Iquitos-Nauta, que la deforestación para los años comprendidos entre el 2000 al 2014 asciende a 270 418.37 ha, de los cuales 56 519.38 ha le corresponde al año 2000; 66 143.62 ha muestra el año 2005; 71 520.17 ha exhibe el año 2010 y 76 235,20 ha presenta el año 2014. Asimismo, asevera que el incremento de la deforestación asciende a 9624.24 ha para los años 2000-2005, 5376.55 ha le pertenece a los años 2005-2010 y finalmente 4715.03 ha le concierne a los años 2010-2014; además, afirma que el incremento de área deforestadas tiene una tendencia lineal. Estos resultados difieren al ser contrastados con los obtenidos en el presente estudio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio se podrían atribuir a la tala, la conversión del bosque a la agricultura y a la cría de ganado, la urbanización y la construcción de infraestructura entre los más importantes. Para Miranda⁴ citado por Mesía²³, indica que la deforestación es el proceso por el cual la tierra pierde sus bosques en manos de los hombres; el hombre en su búsqueda por satisfacer sus necesidades personales o comunitarias utiliza la madera para fabricar muchos productos. La madera también es usada como combustible o leña para cocinar y calentar. Por otro lado, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos. Esto ha generado una gran presión sobre los bosques; mientras que Marcano citado por Mesía²³, manifiesta que durante las últimas décadas, la crisis forestal ha motivado el surgimiento de varias iniciativas internacionales, regionales y nacionales encaminadas a la preservación de los bosques, si bien muchas de ellas lograron escaso éxito. En algunos casos

tienen que ver con grandes fenómenos económicos internacionales, tales como estrategias macroeconómicas que ofrecen fuertes incentivos para la obtención de ganancias a corto plazo en lugar de buscar la sustentabilidad a largo plazo. También son importantes las estructuras sociales profundamente arraigadas que provocan desigualdad en la tenencia de la tierra así como discriminación de los pueblos indígenas, de los agricultores de subsistencia y de los pobres en general. En otros casos incluyen factores políticos tales como la falta de democracia participativa y la explotación de zonas rurales por élites urbanas. El consumismo desmedido de los consumidores de los países de ingresos elevados constituye otra de las principales causas ocultas de la deforestación, mientras que en algunas regiones la industrialización no controlada es un factor clave en la degradación de los bosques.

La pobreza es un problema estructural que durante décadas ha impactado sobre los bosques en el Perú, por la búsqueda de tierras para ampliar la frontera agrícola y ganadera. Adicionalmente, también se tiene la visión extractivista que ha acompañado la explotación de la madera en años anteriores, caracterizada por una alta informalidad y ser fuertemente selectiva. Producto de estas actividades, principalmente de las relacionadas con la agricultura migratoria, se estima para la región de la Selva en el Perú una tasa elevada de 261 000 ha anuales de deforestación, siendo la Zona de la Selva Alta la más afectada³. Tello citado por Mesía²³, señala que la deforestación es el producto de la interacción de numerosas fuerzas ecológicas, sociales, económicas, culturales y políticas en una región dada. La combinación de estas fuerzas varía según las décadas y los países, por lo que las generalizaciones son peligrosas. En la mayoría de los casos, la deforestación es un proceso que involucra la competencia entre diferentes usuarios de la tierra por los escasos recursos disponibles.

5.2. Incremento de la deforestación de la provincia del Alto Amazonas

El incremento de la deforestación por año se muestra en la figura 8, en la cual se puede observar que la deforestación para los 10 primeros años (2000-2010) es casi constante, mientras que para el año 2010-2011 se presenta el mayor incremento con 62 811.70 ha/año y continúa casi inalterable hasta el año 2014 con 79 723 ha. Asimismo, el menor incremento reporta el año 2001 con 4 526.70 ha/año. En el Perú, la superficie deforestada entre 1985-1990 fue de 261.000 ha/año; en base a este dato, se estimó que la superficie deforestada al año 2000 sería de 10.5 millones de ha; sin embargo, al actualizar el mapa forestal (2000), se tenían 7.3 millones de ha; y con el Proyecto PROCLIM (2005 citado por Saldaña²⁹), se confirma la superficie de 7.2 millones de ha. Esta superficie deforestada, representa el 9.25% de la superficie amazónica peruana y el 5% del territorio nacional. El promedio anual de deforestación entre los años 1990 y 2000, encontrado es de 149 631 ha/año (PROCLIM-INRENA, 2005 citado por Saldaña²⁹).

Estos resultados podría atribuirse a los grandes problemas que afronta el recurso forestal en nuestra región como es el de estar sometido a constante presión y depredación, como consecuencia de malas prácticas agropecuarias y de la venta ilegal de madera, siendo los responsables algunos campesinos que urgidos por la pobreza arremeten contra los bosques en busca de nuevas áreas de cultivo o comerciantes que hacen caso omiso de las leyes que prohíben el tráfico de madera, ocasionando como tal la disminución de la cobertura vegetal en la provincia del Alto Amazonas. Según FAO (1999) citado por Saldaña²⁹, asevera que el crecimiento demográfico, la demanda, la expansión y la sobre-explotación del uso de las tierras con fines agrícolas están provocando una serie de trastornos al ecosistema, debido a que éstas actividades producen un cambio en la cobertura del suelo y por ende se

incrementa la deforestación. PNUMA y SEMARNAT, indican que las causas principales de deforestación incluyen el desarrollo del sistema de transporte carretero, los incentivos del gobierno para la agricultura, el financiamiento de proyectos a gran escala tales como presas hidráulicas y explotación de la tierra.

Mientras que la causa indirecta que repercute en la deforestación se menciona a las políticas gubernamentales como se recuerda en nuestro país, en la década 1980-1990 se produjo una de las etapas más intensas de la deforestación de la Amazonía. Los Proyectos Especiales (PE) de Colonización de la Amazonia Peruana, se encontraban en fase de ejecución, siendo su principal objetivo la promoción de la ocupación planificada del territorio y la articulación regional a través de la Carretera Marginal de la Selva, incrementar la producción y productividad del agro, lógicamente la ampliación de la infraestructura vial (IIRSA-SUR, 2006).

Otra de las causas indirectas se menciona a la apertura de vías de comunicación La apertura de la selva con nuevas carreteras es un importante factor en el proceso de deforestación. Luego de la apertura de un camino comienza el proceso de extracción de madera y de ocupación de tierras por parte de pequeños productores que practican agricultura de tala y quema (Martino, 2007 citado por Saldaña²⁹).

5.3. Pérdida de biomasa para el periodo 2000-2014 del área de estudio

La importancia de la estimación de biomasa en las especies vegetales radica principalmente en conocer el valor que tiene como servicio ambiental³⁹. La estimación adecuada de la biomasa de un bosque es de gran importancia, debido a que mediante el conocimiento de la misma se pueden determinar el total de carbono en sus compartimientos, así mismo representa la cantidad potencia de este elemento que se puede liberar a la atmósfera o se almacena en una determinada superficie cuando existe un adecuado manejo de los bosques⁴⁰.

En el cuadro 2 se muestra la biomasa almacenada en los bosques de la provincia del Alto Amazonas, en la cual se indica que la biomasa total determinado por Baccini², del área evaluada asciende a 91 940 886.00 tn; mientras que Saatchi¹, reporta 82 095 775.00 tn. La variación de los resultados (9 845.111 tn) se debe principalmente a la diferencia metodológica empleada. Además, cabe manifestar que la biomasa almacenada exhibe 245.69 ± 79.41 tn/ha Baccini² y 219.38 ± 94.48 tn/ha ostenta lo evaluado por Saatchi¹. Sosa⁴¹, en un estudio sobre valoración económica del secuestro de CO_2 en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, revela que la biomasa de las 25 especies del bosque de terraza baja exhibe 177.82 tn/ha de biomasa total estimada, 256.27 tn/ha le corresponde al bosque de colina baja y finalmente 286.14 tn/ha le pertenece al bosque de colina alta.

Asimismo, el bosque de colina alta muestra la mayor cantidad de biomasa total estimada para las nueve hectáreas evaluadas con 323.91 tn/ha y menor presenta el bosque de terraza baja con 215.97 tn/ha que juntas representan el 62.89% de un total de 858.48 tn/ha. Asimismo, menciona que el bosque de terraza baja reportaría en total 14 509 899.96 tn de biomasa total estimada para 67 184.79 ha, mientras que el bosque de colina baja exhibiera 112 161 444.92 tn para 352 044.71 ha y finalmente el bosque de colina alta mostraría 3 537 853.53 tn para 10 922.34 ha. La diferencia de los valores encontrados en ambos estudios podría afirmarse que la producción de biomasa está influenciada por factores como: edad, calidad de sitio, especies, densidad de las plantaciones, exposición, cambios estacionales, sistema silvicultural aplicado.

Avendaño⁴², mencionan que es necesario conocer la cantidad de biomasa de las especies arbóreas para estimar la cantidad de carbono que captura un bosque, proceso que actualmente representa un servicio ambiental, por lo anterior esto

constituye una alternativa para el manejo de recursos naturales encaminada al desarrollo sostenible y representa una alternativa de obtención de beneficios para las comunidades. En los ecosistemas forestales la determinación y el conocimiento de la biomasa total y por compartimentos tiene aplicación en el control de los tratamientos silviculturales⁴³.

En la figura 9 se muestra la biomasa total almacenada por distrito, en la cual se puede contrastar que el distrito con mayor biomasa total exhibe Yurimaguas con 25 486 059.00 tn según la biomasa registrada a por Baccini² y 24 382 900.00 tn le corresponde a la biomasa evaluada por Saatchi¹, siendo el distrito con menor superficie total de la provincia; le sigue en importancia el distrito de Lagunas con 17 168 785.00 tn y 15 650 550.00 tn, continúa Balsapuerto con 16 018 098.00 tn y 12 842 987.50 tn, luego le corresponde a Jeberos con 12 779 678.00 tn y 11 351 187.50 tn; seguidamente le concierne a Teniente César Lopez Rojas con 11 752 105.00 tn y 10 184 587.50 tn y finalmente le incumbe a Santa Cruz con 8 736.00 tn y 7 683 562.50 tn de biomasa respectivamente. Frias⁴⁴, en un trabajo sobre biomasa total y stock de carbono en tres tipos de bosque en la cuenca media del río Arabela, señala que las 25 especies del bosque de terraza baja muestra 169.49 tn/ha de biomasa total estimada, 141.67 tn/ha le pertenece al bosque de terraza alta y 143.36 tn/ha le corresponde al bosque de colina baja. Además, el bosque de terraza alta muestra la mayor cantidad de biomasa total estimada para las 22 hectáreas evaluadas con 213.72 tn/ha y la menor presenta el bosque de terraza baja con 191.88 tn/ha que juntas representan el 66.80% de un total de 607.24 tn/ha. Del mismo modo, el bosque de terraza baja reportaría en total 541 057.47 tn/ha de biomasa total estimada para 2 819.77 ha, mientras que el bosque de terraza alta ostentaría 194 117.60 tn/ha para 908.28 ha y el bosque de colina baja revelaría 2

166 738.75 tn/ha para 10 745.58 ha. Estos resultados varían al ser comparados con los obtenidos en el presente estudio. Sobre el particular Zamora, citado por Ramírez⁴⁵, manifiesta que la información sobre la biomasa, es fundamental; para responder muchas preguntas sobre el papel que juegan los bosques en el fenómeno mundial, incluyendo los ciclos biogeoquímicos de carbono, nitrógeno y nutrientes principalmente. Las estimaciones del flujo de carbono provenientes de los cambios de uso del suelo, son derivados de modelos cuyos resultados dependen, en parte, de estimaciones de biomasa en los bosques. Su importancia radica en generar escenarios de carbono almacenado en el suelo y en la vegetación, y que éste sea retenido como materia orgánica, dando como resultado estimaciones del carbono neto absorbido, liberado por la combustión. La biomasa pérdida según Baccini², suma 13 070 707.74 tn de un total de 91 940 886 tn, que representa el 14.22% del total; mientras que 16 753 500.64 tn le concierne a Saatchi¹, de un total de 82 095 775 tn, que constituye el 20.41% del total (Figura 12).

La pérdida de biomasa por distrito varía y equivale a la deforestación registrada en el área y al periodo de los datos; según los datos registrados por Baccini², en el periodo 2007-2014 el distrito que perdió mayor cantidad de biomasa aérea a causa de la deforestación fue Yurimaguas, con 6 567 217.44 tn, que representa el 25.77% del total de la biomasa aérea del distrito, seguido de Teniente César López Rojas que perdió 2 134 099.96 tn de biomasa y Balsapuerto que perdió 2 127 889.50 tn de biomasa, lo que equivale al 18.16% y 13.28% del total distrital respectivamente; además, los distritos que perdieron menor biomasa fueron: Santa Cruz que perdió 877 345.33 tn que constituye el 10.04%; Jeberos con 790 816.87 tn que representa el 6.19% y finalmente Lagunas perdió 573 338.64 tn, que representa el 3.34% de la biomasa total acumulada para este distrito (Cuadro 3 y Figura 13).

La pérdida de biomasa por distrito según los datos registrados por Saatchi¹, para el periodo 2000-2014, indica al distrito de Yurimaguas con la más alta pérdida que asciende a 8 308 016.26 tn que representa el 34.07% del total de biomasa aérea acumulada en el distrito; continúa el distrito de Teniente César López Rojas con 2 519 663.17 tn que constituye el 24.74%; le sigue en importancia el distrito de Balsapuerto con 2 544 104.32 tn que representa el 19.81%; mientras que los distritos que registran menor pérdida son Santa Cruz, Jeberos y Lagunas con 1 149 736.06 tn (14.96%), 1 188 345.32 tn (10.47%) y 1 043 635.50 tn (6.67%) respectivamente (Cuadro 3 y Figura 13).

La mayor pérdida de biomasa por periodo se presenta en el distrito de Yurimaguas y le corresponde al periodo 2005-2009 con 2 423 264.03 tn (59.12%) según Saatchi¹ y 2 220 985.20 tn (53.85%) le corresponde según Baccini²; le sigue en jerarquía el distrito de Jeberos para el periodo 2009-2010 con 107 163.29 tn (41.00%) y 111 521.35 tn (40.77%); luego continúa el distrito de Lagunas con 110 469.39 tn (40.88%) y 108 844.85 (39.97%) para el mismo periodo; además, el distrito de Teniente Cesar López Rojas muestra 284 896.23 tn (39.50%) y 308 120.27 tn (37.91%) para igual periodo y finalmente 102 836.65 tn (36.55%) y 102 036.40 tn (35.54%), reporta el distrito de Santa Cruz para similar periodo (Cuadro 1 del Anexo). Como puede apreciarse la mayor pérdida de biomasa se produjo en los años comprendidos entre el 2005 al 2010; por tal situación podría aseverar que las diferentes actividades que tienen que ver con la deforestación se acentuó mayormente en este lapso.

5.4. Relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa del área evaluada

En el cuadro 4 se muestra el modelo alométrico cúbico que se ajustó a la relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa, asimismo, es posible señalar que el

modelo propuesto por Baccini², reporta el más alto valor del coeficiente de determinación ($R^2=0.98$) y menor valor muestra el modelo sugerido por Saatchi¹ con 0,96 de coeficiente de determinación. Ruiz⁴⁶, manifiesta haber encontrado para un estudio sobre modelos alométricos para nueve tipos de bosques y especies de la cuenca del Pastaza que el modelo alométrico exponencial se ajustó a la mayoría de los tipos de bosque con un total de 5 que representa el 55.56%; además, el bosque de colina baja reporta 0.95 de coeficiente de correlación y 0.90 de coeficiente de determinación; mientras que Villacorta³³, indica haber encontrado en un estudio sobre el mismo tipo de bosque que el modelo alométrico exponencial presentó el mejor ajuste con 0.81 de coeficiente de correlación y 0.65 de coeficiente de determinación, ambos estudios difieren con respecto al modelo alométrico ajustado y los valores reportados en el presente trabajo.

CAPITULO VI

VI. CONCLUSIONES

1. La cuantificación de la deforestación, está directamente relacionada al periodo de evaluación, a la ubicación espacial, a las estructuras sociales y a la población de los distritos, porque la más alta deforestación se presenta en los distritos asentados en los límites de la provincia del Alto Amazonas y menor en los instalados en el interior de la provincia.
2. El incremento de la deforestación está influenciado por la constante presión y depredación antrópica de los bosques como consecuencia de las malas prácticas agropecuarias, presentándose mayor aumento en los distritos ubicados en los límites de la provincia del Alto Amazonas.
3. La ubicación espacial influye directamente en la pérdida de biomasa aérea, puesto que los distritos ubicados en los límites de la provincia del Alto Amazonas reportan mayor pérdida de biomasa aérea, mientras que los ubicados al interior de la provincia muestran menor deforestación y por consiguiente menor pérdida de biomasa aérea.
4. La relación entre la deforestación y la pérdida de biomasa aérea es directa, por consiguiente a mayor deforestación mayor pérdida de biomasa aérea, por lo tanto las ecuaciones alométricas, que permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas, son elementos claves para estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono.

CAPITULO VII

VII. RECOMENDACIONES

1. En base a este estudio se recomienda experimentar nuevas técnicas para el cálculo de la biomasa aérea de los bosques amazónicos, que sean directas y menos costosos, empleando imágenes satelitales que permiten tener visiones una visión más global de la superficie y realizar el monitoreo más oportuno y en menores periodos de tiempo.
2. La información generada en este estudio provee un marco para el análisis, consulta y apoyo para todas aquellas personas e instituciones interesadas en el manejo forestal sostenible y el desarrollo de investigaciones que tengan como objetivo la cuantificación de biomasa y carbono con fines de valoración.
3. Se recomienda estimar la biomasa con cualquiera de los dos autores evaluados, pero se exhorta en especial particularidad utilizar el modelo sugerido por Baccini² por presentar el más alto valor de coeficiente de determinación ($R^2=0,98$), lo que demuestra que existe una mejor correlación entre las variables.

CAPITULO VIII

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Saatchi, S. S.; R. A. Houghton, D. Alves y B. Nelson. 2009. LBA-ECO LC-15 Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000. Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. doi:10.3334/ORNLDAAAC/908.
2. Baccini, A, S.J. Goetz, W.S. Walker. *et al.* 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. Nature Climate Change doi:10.1038/nclimate 1354 p.
3. Condoy, G. y Silva, S. D. 2006. Análisis y tendencia de la deforestación de la provincia de Zamora Chinchipe, en base a la interpretación de imágenes satelitales. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos naturales renovables. Loja. Ecuador. 105 p.
4. Miranda, L. 2013. Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en una porción de la región centro-norte de México. Tesis (Grado de Doctor). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. México. 93 p.
5. FAO. 2010. Global Forest Resource Assessment 2010. FAO Forestry Paper 163. 378 p. Available at www.fao.org/forestry/fra2010.
6. Ministerio del Ambiente. 2014. Cuantificación de la cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque de la Amazonía Peruana. Período 2009-2010-2011. Memoria Técnica. 52 p.
7. Ministerio del Ambiente. 2000. Mapa de deforestación de la Amazonía Peruana. Programa de fortalecimiento de capacidades nacionales para manejar el impacto del cambio climático y la contaminación del aire – PROCLIM, Lima – Perú. 108 p.

8. Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper. 134 (1): 50-55
9. Lino, K. 2009. Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. Tesis (Ingeniera Forestal). Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Pucallpa. 70 p.
10. Montoya, G. y Tipper, R. 1995. Cuadernos de trabajo 4: Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología. México. 50 p.
11. Ordóñez, J. A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado, el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. SEMARNAP-INE. México. 74 p.
12. Torres, R. J. M. y Guevara, S. A. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Gaceta Ecológica. INE. México. 63:40-59
13. De Jong, B. H. J.; Macera, O. y Hernández- Tejeda, T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. En: Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT-INE. México. p 380.
14. Bull, G.; Z. Harkin y A. Wong. 2007. El desarrollo de mercados para el carbono forestal en la Columbia Británica, Canadá. En: La venta de servicios ambientales forestales. Segunda Edición. Instituto Nacional de Ecología. México. p. 337-366.
15. Jimenez, C. 2010. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii* Lindl., en el Parque Nacional Izta-Popo. Tesis (Ingeniero en Restauración Forestal). Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. México. 55 p.

16. Perez, E. N. y J. Nuñez. 2010. La responsabilidad civil por la deforestación como daño ambiental puro en el Perú. Tesis (Abogado). Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Derecho y Ciencias Políticas. 262 p.
17. Rodríguez, J. R. 2015. Relación de altura total y comercial con el diámetro de los árboles de un bosque de colina baja. Distrito Yavari. Tesis Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 60 p.
18. Rodríguez, L, R.; P. J. Jiménez.; C. O. Aguirre y G. E. Treviño. 2006. Estimación del carbono almacenado en bosques de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia UANL IX (2): p. 179 – 187
19. Vidal, A.; J. Y. Benítez.; J. Rodríguez y R. Carlos. 2001. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var *caribaea* en la EFI. La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Quebracho 11. P. 60-66.
20. Gayoso, J.; J. Guerra. y D. Alarcon. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral Chile. Valdivia, Chile. 157 p.
21. Vidal, C. A.; R. J. Rodriguez.; N. J. Benitez y R. R. C. Alvarez. 2002. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pies de *Pinus tropicalis* Morelet en la empresa forestal integral macurije de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Revista forestal. 32(2):261-265.
22. Acosta, M. M.; H. J. Vargas. M. A. Velásquez y B. J. D. Etchevers, 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el usos de la relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. 736 p.
23. Mesía, J. I. 2015. Deforestación en el eje vial Iquitos-Nauta y su relación con la variabilidad climática local a través de los años. Tesis Magíster en Ciencias. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Escuela de Postgrado José Torres Vásquez. 73 p.

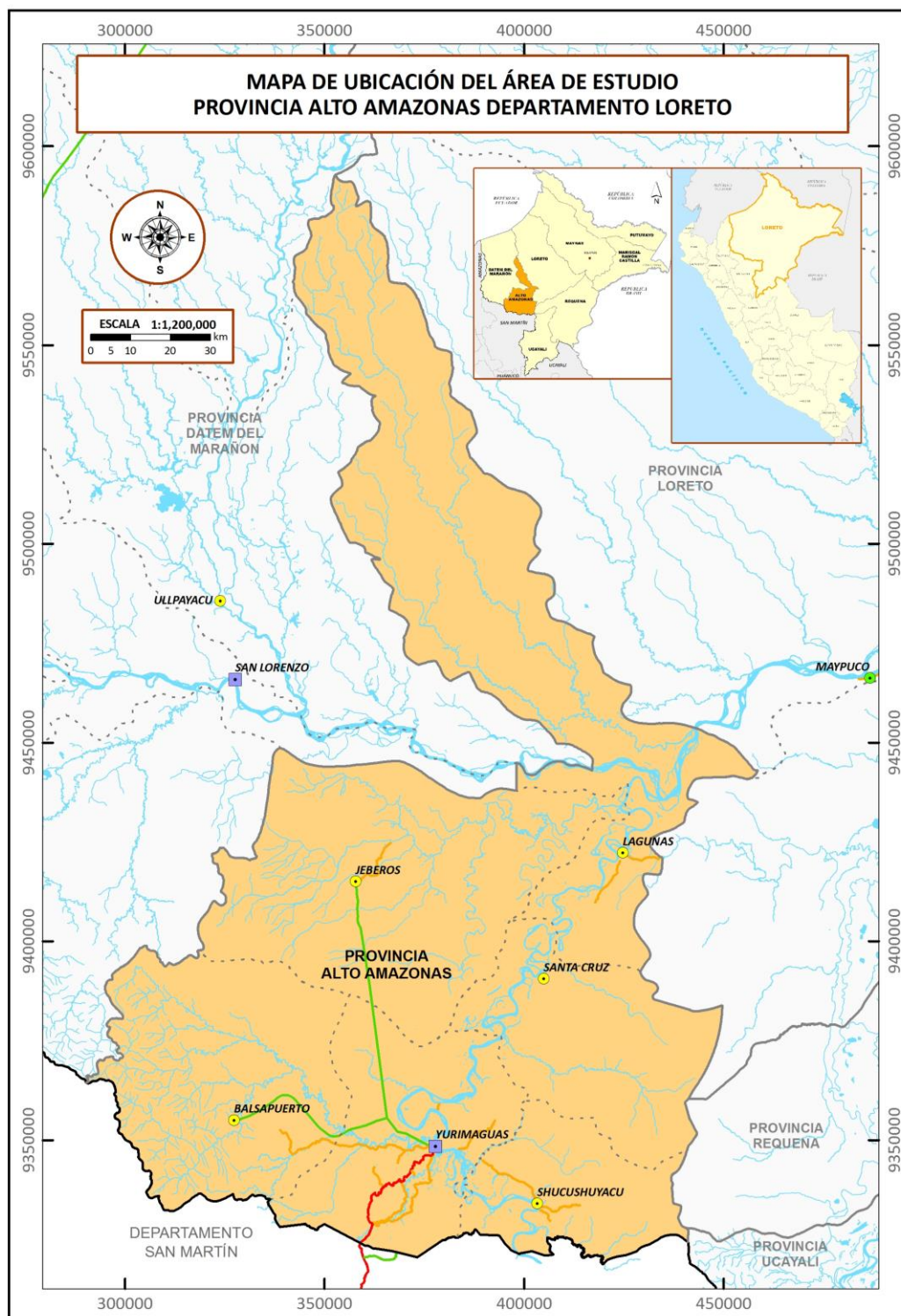
24. Ministerio del Ambiente 2009. Mapa de deforestación de la Amazonía Peruana 2000. Memoria Descriptiva. PROCLIM. Lima Perú. www.minam.gob.pe. p. 17.
25. Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de
26. Macedo, A.; G. Pajares and M. Santos. 2010. Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia*. P 711-722.
27. Newton, A. C. 2007. *Forest ecology and conservation. A Handbook of techniques*. Ed. Oxford University Press. 454 p.
28. Lang, S. 2008. Chapter:1.1. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. P 3-27. In: *Object-Based image analysis. spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. Blaschke, T., Lang, S. and Hay, G.J. Ed. Springer. ISBN: 978-3-540-77057-2. 817 p.
29. Saldaña, M. K. 2010. Determinación del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal “Bosques de Huamantanga”, utilizando imágenes de satélite. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal. Jaén, Perú. 77 p.
30. Castillo, M. A. 2009. Análisis con imágenes satelitales de los recursos forestales en el trópico húmedo de Chiapas: un estudio de caso en Marqués de Comillas. Tesis (Doctor en Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias Biológicas. México. D. F. 117 p.
31. Fontes, L. M. 1999. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. Allometric patterns for tropical pioneer tree species. *Scientia Forestalis* 55: 79-87

32. Alves, L. F. y F. A. Santos. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *J. Trop. Ecol.* 18: 245-260.
33. Villacorta, F. M. 2012. Relación de la abundancia y estructura diamétrica en tres tipos de bosque y especies más importantes en la cuenca media del río Arabela. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Loreto-Perú. 90 p.
34. Henry, H. A. y L. W. Aarssen. 1999 The interpretation of stem diameter-height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects or biased regression. *Ecol. Lett.* 2: 89-97
35. Delgado, L. A.; F. M. Acevedo, H. Castellanos.; H. Ramírez y J. Serrano. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. 8 p.
36. Swaine, M. D. y T. C. Whitmore. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forest. *Vegetation.* 86 p.
37. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 2015. Cobertura y uso de la tierra de las provincias de Alto Amazonas y Ramón Castilla. Documento Técnico N° 33. Iquitos-Perú. 54 p.
38. Holdridge, L. R. 1967. Ecología basada em zonas de vida. Instituto Americano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José. 216 p.
39. Pacheco, A. G. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea por compartimientos en reforestaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham, en Xiacuí, Ixtlán, Oaxaca. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad de la Sierra Juárez. México. 58 p.
40. Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. 13 p.

41. Sosa, J. O. 2014. Valoración económica del secuestro de co₂ 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. 82 p.
42. Avendaño, H. D.; M. Acosta.; F. Carrillo y J. D. Etchevers. 2007. Estimación de biomasa y carbono en árboles de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham, mediante ecuaciones alométricas, In: Memoria del VII Congreso Mexicano de recursos forestales, 28 al 31 de octubre. Morelia Michoacán. México. 9 p.
43. Caritat, A.; M. Oliveira y M. Molinas. 1992. Distribución de la biomasa en dos parcelas de alcornocal, *SCIENTIAE gerundensis*. 142 p.
44. Frias, T. J. 2015. Biomasa total y stock de carbono en tres tipos de bosque en la cuenca media del río Arabela. Tesis (Ingeniero forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Loreto-Perú. 106 p.
45. Ramirez, M. 2013. Contenido de carbono en los productos y residuos generados por el aprovechamiento forestal de un bosque húmedo tropical en la comunidad nativa de Santa Mercedes, río Putumayo. Tesis (Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos, Perú. 74 p.
46. Ruiz, M. A. 2013. Modelos alométricos para nueve tipos de bosques y especies de la cuenca del Pastaza provincia del Datem del Marañón, Loreto-Perú. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos-Perú. 141 p.
47. PNUMA y SEMARNAT. 2006. El cambio climático en América Latina y El Caribe. México. 140 p.

48. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
49. http://www.dev.clirsen.com/pdfs/defo_ecuador.pdf
50. [http://www.dev.clirsen.com/pdfs/defo_ecuador. pdf](http://www.dev.clirsen.com/pdfs/defo_ecuador.pdf)

ANEXO



Anexo 1. Mapa de ubicación del área de estudio

Anexo 2. Pérdida de biomasa por periodo según distrito

Distrito	Periodo	Pérdida de biomasa total por distrito (Tn)		% Pérdida de biomasa Total por distrito (Tn)	
		Baccini <i>et al.</i> (2012)	Saatchi <i>et al.</i> (2011)	Baccini <i>et al.</i> (2012)	Saatchi <i>et al.</i> (2011)
BALSAPUERTO	2000-2005		774731,92		8,94
	2005-2009	512826,43	432426,70	5,06	4,99
	2009-2010	387055,65	340051,70	3,82	3,92
	2010-2011	355623,53	301746,61	3,51	3,48
	2011-2013	469259,20	375989,10	4,63	4,34
	2013-2014	403124,68	319158,29	3,98	3,68
JEBEROS	2000-2005		397566,48		33,49
	2005-2009	286004,11	290086,34	35,09	35,22
	2009-2010	111521,35	107163,29	40,77	41,00
	2010-2011	174499,83	157820,98	24,67	24,93
	2011-2013	116339,97	118728,39	31,13	32,38
	2013-2014	102451,61	116979,85	43,31	43,82
LAGUNAS	2000-2005		467566,60		21,09
	2005-2009	199345,53	191824,62	34,43	34,25
	2009-2010	108844,85	110469,39	39,97	40,88
	2010-2011	89089,75	104849,83	25,64	26,95
	2011-2013	60741,68	59282,39	29,51	29,64
	2013-2014	115316,84	109642,66	30,87	30,30
SANTA CRUZ	2000-2005		290573,51		25,58
	2005-2009	149997,49	133690,12	22,47	22,15
	2009-2010	102036,40	102836,65	35,54	36,55
	2010-2011	216336,65	244421,89	22,81	23,45
	2011-2013	302090,88	281569,60	32,71	31,42
	2013-2014	106883,92	96644,29	36,70	34,52
TENIENTE CÉSAR LOPEZ ROJAS	2000-2005		627546,09		28,73
	2005-2009	496895,08	385203,13	28,04	27,61
	2009-2010	308120,27	284896,23	37,91	39,50
	2010-2011	478345,72	539794,87	31,07	32,27
	2011-2013	577623,50	460158,41	37,85	36,92
	2013-2014	273115,38	222064,43	35,54	34,59
YURIMAGUAS	2000-2005		2128710,59		31,71
	2005-2009	2220985,20	2423264,03	53,85	59,12
	2009-2010	774236,11	714353,10	42,54	40,95
	2010-2011	1935534,26	1654021,31	39,32	33,66
	2011-2013	920475,28	754001,97	52,29	48,48
	2013-2014	715986,59	633665,26	31,35	29,98