



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**

**TÍTULO:**

**CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL AMARILLO GUAYAQUIL BAJO  
CONDICIONES DE BOSQUE SECO TROPICAL**

**AUTORES:**

**Carlos Arturo Moreira Cevallos**

**Ricardo Javier Hidalgo Alcívar**

**UNIDAD ACADÉMICA:**

**Extensión Chone**

**CARRERA:**

**Ingeniería Agropecuaria**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**CHONE - MANABÍ – ECUADOR**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Álvaro Cañadas, Ph.D. Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí Extensión Chone, en calidad de Tutor.

### CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación con el tema: **Crecimiento y Producción del Amarillo Guayaquil bajo condiciones de bosque seco tropical**, ha sido exhaustivamente revisado en varias tutorías para poder presentar su informe final, mismo que se encuentra listo para su presentación y apto para su defensa.

Además, las opiniones y conceptos vertidos en este documento son una contribución del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autores, **Carlos Arturo Moreira Cevallos** con cedula de identidad 131479105-2 y **Ricardo Javier Hidalgo Alcívar** con cedula de identidad 131459778-0 siendo de su exclusiva responsabilidad.

Chone, septiembre de 2018

Álvaro Cañadas L. Ph.D.

**TUTOR**

**2018**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

**Moreira Cevallos Carlos Arturo** e **Hidalgo Alcívar Ricardo Javier**, declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: **Crecimiento y Producción del Amarillo Guayaquil bajo condiciones de bosque seco tropical**, siendo el **Álvaro Cañadas L. Ph.D.**, Tutor del presente trabajo; y relevamos expresamente a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones vertidos en el presente trabajo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente aprobamos los derechos de este trabajo a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, para que forme parte de su patrimonio de propiedad intelectual de investigación, trabajos científicos o técnicos y trabajos de titulación, ya que ha sido realizado con apoyo financiero, académico o institucional de la universidad.

Chone, septiembre de 2018

-----  
Moreira Cevallos Carlos Arturo

**AUTOR**

-----  
Hidalgo Alcívar Ricardo Javier

**AUTOR**



## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

### UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ EXTENSIÓN CHONE ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: **Crecimiento y Producción del Amarillo Guayaquil bajo condiciones de bosque seco tropical** siendo Álvaro Cañadas L. Ph.D. Tutor, elaborado por los egresados **Moreira Cevallos Carlos Arturo** e **Hidalgo Alcívar Ricardo Javier**, de la Escuela de Ingeniería Agropecuaria.

Chone, septiembre de 2018

-----  
Ing. Odilón Schnabel Delgado Mgs.  
DECANO

-----  
Álvaro Cañadas L. Ph.D.  
TUTOR

-----  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

-----  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado A Dios Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado la salud, paciencia y la perseverancia para lograr estos objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Le agradezco a mi madre Narcisa Alcívar y a mi padre Wilmer hidalgo por estar apoyadme constante mente, a mis hermanos a mi mujer e hijo ángel por su apoyo incondicional.

A mi madre Nelly Cevallos y padre Agrilio Moreira por darme el apoyo incondicional cuando lo he necesitado a mis hermanos por darme siempre esas palabras de seguir adelante y agradecerle a todas las personas que han hecho posible la obtención de este triunfo.

Agradecerles a los que nos colaboraron en este trabajo de titulación. El Ing. Carlos Saúl M.Sc. director del INIAP, Litoral Sur de la ciudad de Guayaquil, por el apoyo brindado, con sus colaboradores para el levantamiento de información de campo en la provincia de Guayas, Santa Elena y Loja.

Reconocer el apoyo prestado por Carlos Molina H, M.Sc. director del INIAP Pichilingue del cantón Quevedo, por el apoyo brindado con sus colaboradores para el levantamiento de información de campo en la provincia de Los Ríos, Esmeraldas.

A estudiantes del octavo semestre de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí Extensión Chone, por su colaboración en el levantamiento de información de campo relacionado al cálculo de volumen ( $m^3$ ) del amarillo en la provincia de Manabí,

A nuestro tutor Álvaro Cañadas L. Ph.D. por brindarnos su ayuda para ir a las mediciones de campo, por habernos orientado en este trabajo de titulación y compartir sus conocimientos en un campo nuevo de la ciencia.

A los docentes que me colaboraron en el transcurso de la etapa universitaria, agradecerles por sus conocimientos impartidos y a otras personas por ese gran apoyo y motivación que me dieron para salir adelante para la culminación de esta meta en la vida profesional.

¡Gracias a ustedes!

Los autores.

## RECONOCIMIENTO

Al culminar este ciclo en mi vida profesional, mediante este trabajo de titulación, quiero agradecer a las personas e instituciones como el INIAP que ayudaron a la culminación de esta meta

A los docentes que nos brindaron sus conocimientos con el único propósito de que seamos buenos profesionales, con sus consejos, dedicación y disposición fortalecieron nuestro conocimiento, lo que me permite culminar y llegar hacer profesional.

A la familia en general que con su constante apoyo y formación de vida con sus consejos facilitaron el tránsito en este complejo camino, hasta llegar a la meta, cumpliendo otro sueño, contribuyendo al progreso personal y al desarrollo social y productivo para nuestra patria ecuatoriana y el mundo.

A la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí Extensión Chone, quien nos abrió las puertas para lograr nuestra formación profesional y de competitividad integral en general.

.

Los autores.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
RECONOCIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN Y/O SÍNTESIS.....	xi
KEYWORDS:.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.2.1 Caracterización del error del modelo .....	17
<i>CAPÍTULO II.....</i>	<i>20</i>
2. Materiales y Métodos .....	20
2.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
2.2. Población y muestra.....	20
2.3. Parámetros de crecimiento de especies forestales.....	21
2.4. Marcación de la circunferencia .....	21
2.5. Levantamiento de la información de campo .....	21
2.6. Determinación de parámetros productivos agroforestales .....	22
2.7. Índice de Sitio (IS) .....	22
CAPÍTULO III.....	25
3. Resultados obtenidos .....	25

3.1. Relación diámetro altura para Amarillo Guayaquil.....	25
3.2. Modelos para describir el crecimiento del diámetro con el transcurso de la edad de los árboles de Amarillo Guayaquil (Índice de Sitio).....	26
3.2.1. Modelos para describir el crecimiento en altura con el transcurso de la edad de los árboles de Amarillo Guayaquil (Índice de Sitio).....	28
3.2.3. Producción del Amarillo Guayaquil en relación al diámetro y altura (Índice de Sitio).....	29
3.2.4. Producción de volumen (m <sup>3</sup> ) maderable del Amarillo Guayaquil ....	30
3.2.5. Producción del Amarillo Guayaquil expresado como punto de corte .....	32
CAPÍTULO IV .....	34
4.1. Relación estocástica diámetro-altura para el Amarillo Guayaquil.....	34
4.2. Modelos de crecimiento en diámetro y altura para Amarillo Guayaquil .	34
4.3. Índice de sitio para diámetro a la altura del pecho y altura para el Amarillo Guayaquil .....	35
4.4. Producción de volumen maderable (m <sup>3</sup> ) del Amarillo Guayaquil.....	36
4.5. Ciclo de corta para Amarillo Guayaquil.....	37
CONCLUSIONES .....	38
RECOMENDACIONES .....	39
BIBLIOGRAFIA.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.</b> Cuatro criterios para la evaluación del ajuste de un modelo.....	22
<b>Tabla N° 2.</b> En esta tabla se muestran los lugares donde se encuentran las poblaciones del Amarillo Guayaquil .....	24
<b>Tabla N° 3.</b> Seis funciones para describir la relación diámetro altura para el Amarillo Guayaquil, dentro de 4 provincias de la costa del Ecuador.....	30
<b>Tabla N° 4.</b> Modelos matemáticos para describir el índice de sitio para el diámetro en cuatro provincias del Ecuador. ....	31
<b>Tabla N° 5.</b> Modelos matemáticos para describir el índice de sitio para la altura máxima en cuatro provincias del Ecuador.....	33
<b>Tabla N° 6.</b> Modelos, parámetros y coeficientes de determinación para describir el volumen ( $m^3$ ) del Amarillo en cinco provincias del Ecuador .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.</b> Tipos comunes de modelos de incremento .....	16
<b>Figura N°2.</b> Dos componentes de un modelo. Izquierda .....	18
<b>Figura N°3.</b> Efecto del diámetro de un árbol con diámetro $d$ (cm) y edad sobre el parámetro $\beta_1$ .....	19
<b>Figura N°4.</b> Un objetivo imaginario y distribución de residuos, ilustrando el concepto de precisión y bias.....	21
<b>Figura N° 5.</b> Visualización de los residuos.....	23
<b>Figura N° 6:</b> Relación diámetro altura para 1400 árboles de 4 provincias de la costa ecuatoriana para Amarillo Guayaquil.....	29
<b>Figura N° 7:</b> Ploteo de los datos obtenidos en campo en relación a la edad de los árboles en cuatro provincias del Ecuador.....	31
<b>Figura N° 8:</b> Índice de sitio para la altura total para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.....	32
<b>Figura N° 9:</b> Índice de sitio para DAP y altura máxima para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.....	34
<b>Figura N° 10:</b> Índice de sitio para DAP y altura máxima para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.....	35
<b>Figura N° 11:</b> Análisis gráfico de residuos para los valores de volumen ( $m^3$ ) observado y predicho mediante el modelo Schumacher-Hall para el Amarillo Guayaquil en cinco provincias del Ecuador.....	36
<b>Figura N° 12:</b> Incremento medio anual, incremento corriente anual, producción acumulada y punto de corte para el Amarillo Guayaquil en la provincia de Los Ríos, Ecuador.....	37

## RESUMEN Y/O SÍNTESIS

En el Ecuador se conoce muy poco sobre las especies de bosque seco tropical con potencial para el desarrollo de los sistemas silvopastoriles en la región costa Ecuador. Dentro de este contexto, la presente investigación pretende valorar el potencial productivo del Amarillo Guayaquil (*Centrolobium ochoroxyllum*) dentro de bosque seco tropical a través de procesos de herramientas dasonométricas y empleo de modelos matemáticos como base para aportar a la sostenibilidad de las especies nativas de bosque seco. Para abordar esta problemática se levantó información de 1,400 árboles distribuidos en cuatro provincias del Ecuador. Para determinar el volumen ( $m^3$ ) y la función de mayor ajuste a la descripción de la forma de fuste de 500 árboles tomándose el diámetro a diferentes alturas del árbol. Obteniéndose los siguientes resultados: Se desarrolló una función diámetro-altura para describir esta relación para el Amarillo Guayaquil mediante la función Bates y Watts. En correspondencia al crecimiento de diámetro y altura con relación al transcurso de la edad, la función de Weber fue la que mejor se ajustó a estos dos parámetros. Para los mejores sitios se obtuvo DAP de 15.26 cm y alturas de 20.23 m a la edad de 10 años en los mejores sitios de crecimiento que fue la provincia de Los Ríos. Para establecer el volumen ( $m^3$ ) la función de Schumacher-Hall fue la que mejores niveles de ajuste presentaron. Se proyecta un ciclo de corta de 45 años para la mejor zona de crecimiento de Amarillo Guayaquil.

### **PALABRAS CLAVES:**

Modelos de crecimiento, ecuaciones no lineales, predicciones de crecimiento, Volumen

## SUMMARY

In Ecuador, very little is known about tropical dry forest species with potential for the development of silvopastoral systems in the coastal region of Ecuador. Within this context, this research aims to assess the productive potential of Yellow Guayaquil (*Centrolobium ochoroxylum*) within tropical dry forest through dasonometric measurements and use of mathematical models as a basis to provide the sustainability of native dry forest species. To address this problem, information was gathered from 1,400 trees spreader in four provinces of Ecuador under dry forest conditions. To determine the volume and the function of greater adjustment to the description of the stem form of 500 trees taking the diameter at different tree heights. Obtaining the following results: A diameter-height function was developed to describe this relationship for Amarillo Guayaquil through Bates and Watts function. Weber's function was most suitable equation with tow parameter to describe the diameter and height in relation to the course of age. For the best sites index for *Centrolobium ochoroxylum*, DAP of 15.26 cm and heights of 20.23 m at the age of 10 years were obtained and was recorded in the province of Los Ríos. To establish the volume, the Schumacher-Hall function was accurate function with the best adjustment levels. Finally, a 45-year cutting cycle is projected for the best growing area of Amarillo Guayaquil.

### KEYWORDS:

Growth models, none lineal equation, yield prediction, volume

## INTRODUCCIÓN

Para la práctica forestal, los modelos de simulación son parte de la innovación y se constituyen en un instrumento irrenunciable para la investigación en el campo de la planificación y el encuentro con la toma de decisiones sobre el manejo práctico de los bosques con bases económicas. Así, de acuerdo a la resolución espacial de los modelos de producción y aprovechamiento forestal se dejan dividir en cuatro categorías (Haggar et al., 1998).

### **a). Modelos regionales**

Se describe el crecimiento promedio, así como también el desarrollo de los bosques dentro de una región amplia. La resolución es extremadamente pequeña. Como ejemplo de este tipo de modelos pueden ser nombrados los enfoques de (Murray & Gadow, 1993)

### **b). Modelo de Rodal**

Este modelo representa el avance de rodales puros en reacción a diferentes condiciones de territorio y variación de tratamientos. Se presenta varios ejemplos de este tipo de modelos se puede ver en (Clutter,1963) desarrollo de compatibilidad de crecimiento y modelos de producción (Franz, 1968) simulador de crecimiento de modelo de un sistema integrado de tablas de producción y el modelo de crecimiento de rodales; (Gadow v. & Hui, 1993) modelos para el desarrollo de rodales y potencial de densidades de rodales, modelos de desarrollo de área basal de rodales y modelos de crecimiento de altura máxima (Hui, 1995) modelos de desarrollo de rodales después del raleo.

### **c). Modelo de árbol representativo**

También en un trabajo realizado se relata el desarrollo de un único árbol como representante de una población de individuos con iguales características. Los modelos de desarrollo de la distribución diamétrica, modelo matemático para la simulación del crecimiento y raleo, distribución y simulador de clasificación modelo de curvas de altura, modelo de la dinámica de las empresas forestales, unidad de curvas de altura (Lemm, 1991).

#### **d). Modelo de árbol individual**

Este modelo se refiere al aumento de un árbol individual en dependencia de sus vecinos más cercanos. Ejemplos de estos se encuentran en desarrollo de la orientación de árbol individual, modelo de crecimiento dependiente de la distancia, modelo de procesos ecológicos, modelo de crecimiento para rodales puros y mezclados (Pretzsch, 1992).

Los bosques secos tropicales también están definidos ampliamente como sabanas y áreas cubiertas de bosques que ocupan un 30% del área de la tierra (FAO, 2006; Cañadas et al., 2017). La amplificación total del bosque seco en el territorio ecuatoriano fue de 25,275 km<sup>2</sup> (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). En los ecosistemas forestales de bosque seco tropicales están siendo rápidamente y directamente innovados por el uso del suelo como consecuencia del crecimiento de la población y de la economía. En la actualidad, hay pocas pruebas sobre los impactos continuos del cambio climático en el mundo forestal) y cambios en los ciclos hidrológicos en el mundo tropical (Aguirre, 2006).

Los aumentos de la frecuencia y severidad de extrema sequía, incrementan las olas de calor (Sterl et al., 2008). El alcance y la predicción de las consecuencias de este cambio climático sobre los ecosistemas es un tema emergente como un desafío científico y sobre todo establecer los impactos en el bosque y por ende las consecuencias de estos fenómenos en las especies de bosque seco (Bonan, 2008).

De acuerdo a Toledo et al. (2011) los parámetros climáticos tienen definitiva influencia sobre el crecimiento de los árboles e índices de desarrollo de los bosques en comparación con el suelo y alises de disturbios. Diciendo que el cambio climático también podría tener enormes secuelas sobre la producción y la acumulación de carbón en los bosques secos.

Hay tres especies maderables originarias del país, amenazadas en la eco región bosques seco del litoral ecuatoriano. Uno de los que está en peligro se lo conoce localmente como “Amarillo Guayaquil” y se ha planteado la necesidad de rescatar lo que queda de la variabilidad genética de la especie forestal “Amarillo

Guayaquil" (*Centrolobium ochoroxylum*), para que permita su reinserción en los diversos sistemas de uso de la tierra y la conservación del recurso para su explotación sostenible (Cañadas et al., 2007) y también no antes de tener datos dasonométricos que nos permitan instaurar su desarrollo y producción del Amarillo Guayaquil dentro de las zonas de vida de Bosque Seco Tropical (Cañadas, 1983; Cañadas & Vera, 2011).

De acuerdo a Cañadas (2005) en los diferentes países tropicales se estableció que el recurso bosque es exuberante y que está en desarrollo ser explotado. De esta manera la atención en el Ecuador se ha centralizado más sobre la explotación y utilización antes que sobre su plantación y crecimiento. Desde este último punto de vista, la tendencia en nuestro país se considera a la plantación de árboles como un arte. Sin prestar cuidado a los costos involucrados y sin preocuparse menos aún de cuál va a ser el futuro preciso de su utilización (Cañadas & Rade, 2013).

La meditación sobre este argumento radica que los productos forestales a diferencia de otras materias primas, nunca se proyectan para satisfacer las necesidades de una industria que cada vez va mas creciendo. De tal modo simplemente se establecen sembríos amparados en el supuesto de que algún modo estas van a ser explotadas, fructificadas y utilizadas (Cañadas et al., 2013).

De acuerdo a Cañadas (1983) este señalaba que las ventajas económicas del buen uso de tierras de rastrojo manejando la regeneración natural de estas especies secundarias como la Balsa, el Amarillo Guayaquil o Laurel, serian una alternativa sana para el Ecuador, desde el punto de vista del ligero desarrollo, y amplia ligereza y uso de las características físicas de estas especies que se mencionan.

De acuerdo a Cañadas et al. (2016) Indican que en el Ecuador se ha desarrollado muy escasa investigación para afrontar técnicamente a estos nuevos retos que plantea la nueva Constitución en el país, a su vez no se han realizado estudios sobre la producción y beneficio económico de plantaciones forestales ya sea de cualquier especie que se tenga, basados principalmente en el progreso de

modelos regionales de rodales, que nos permitan discriminar la viabilidad técnica y económica de los proyectos de reforestación dentro del país.

En la actualidad existe una gran cantidad de formas funcionales y estrategias de modelamiento que han sido utilizadas en diferentes especies forestales; y sin embargo, su utilidad aún no ha sido justamente valorada en plantaciones de Amarillo Guayaquil en el Ecuador. De allí que, los objetivos de la presente investigación fueron:

### **Objeto**

Ingeniería Agro-Forestal

### **Objetivo general**

Valorar el potencial productivo del Amarillo Guayaquil dentro de bosque seco tropical a través de procesos de herramientas dasonométricas y empleo de modelos matemáticos como base para aportar a la sostenibilidad de las especies nativas de bosque seco de cara a los desafíos de Cambio Climático.

### **Campo de acción**

Modelos matemáticos que permiten describir el crecimiento y producción del Amarillo Guayaquil.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Características botánicas del Amarillo Guayaquil

El Amarillo Guayaquil es un árbol heliófilo, principalmente en bosques secos donde se regenera naturalmente sola o asociada a otras especies, su fuste es mala forma, la copa es asimétrica irregular o redondeada muy densas en época lluviosa y caducifolio en la época seca, tolera alta radiación solar, las características principales del Amarillo Guayaquil es la altura de los árboles, producción de semilla, provenientes de las provincias del Guayas, Manabí, Esmeralda y Los Ríos (Little & Dixon, 1969).

La vegetación y la fauna cambian de manera considerable en relación a los bosques húmedos como resultado de la amplitud térmica. En ellos las temperaturas oscilan entre los 15° C y los 25° C. Las amplitudes térmicas entre el día y la noche son bastante marcadas. Este tipo de bosques presentan colores en la amplia gama del verde en época de lluvias, pero también tienen períodos de sequía. Las precipitaciones son entre 1.000 y 2.000 milímetros (mm) anuales, aunque en algunos bosques secos puede apenas rondar los 100 mm anuales (Lozano, 2002).

El crecimiento es muy bueno en zonas con precipitaciones superiores a los 1500 mm y temperaturas desde 18 a 32°C con una media de 25°C. En las áreas secas con precipitaciones cercanas a 800 mm y época seca bien definida, esta especie muestra un porte más pequeño y según productores y ebanista es de la mejor calidad (Iniap, 2008).

### 1.1.1. Distribución geografía y taxonómica

El género *Centrolobium* es nativo de centro América y Sudamérica y persiste en los bosques húmedos tropicales y montano bajo desde Panamá hasta Brasil.

La clasificación taxonómica del Amarillo de Guayaquil.

<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Genero</b>	Centrolobium
<b>Especie</b>	Ochroxylum
<b>Nombre común</b>	Amarillo Guayaquil

### 1.1.2. Descripción botánica

El árbol Amarillo Guayaquil alcanza hasta 30 metros de alto y 0.7 metros de (DAP) diámetro a la altura del pecho, es de estado natural, los troncos son recto y cilíndrico con raíces tablares angosta y copa redondeada, hemisférica y cerrada. La corteza es de color caro lisa y levemente áspera con pocas fisuras delgadas y pocas escamas; la corteza interior es verdusca; las ramitas gruesas se encuentran ascendentes y extendidas y generalmente son verdes claras y finamente pelosas. Las hojas del árbol son compuestas, imparipinadas, alternada con estipulas pareadas puntiagudas de 6 mm de largo y de color verde grisáceo o café, diminutamente peludas. Las hojas son pareadas con periodo de 5 mm excepto la terminal solitaria (Little & Dixon, 1969).

De acuerdo Little & Dixon (1969) el haz es verde mate con los nervios laterales un poco impreso y el verde grisáceo con numerosos puntos glandulosos lisos, las láminas de hojas miden de 6 a 20 cm de largo y de 5 a 14 de ancho y son puntiagudas en el ápice y redondeadas o acorazonadas en base. La

inflorescencia es compuesta, el cáliz es de color pardo y de 1.5 cm de largo con un tubo corto de forma de campana y cuatro lóbulos designados desiguales puntiagudos. Las flores del Amarillo Guayaquil son naranja amarillenta, vistosas, asociadas en racimas en las puntas de las ramas, algo rectas. La corola es amarillenta con un pétalo estandarte ancho con una muesca en el ápice, dos pétalos menores alados y dos unidos formando la quilla.

Sus frutos son una samara indehiscente que están cubierta con espinas rectas delgadas de 3 cm de largo y espinas aciculares blandas en la región de la semilla, sobre el cuerpo agrandando en forma de bola y un ala grande. Los frutos son verdes a café verdusco, grande, leñoso y con una o dos semillas, el árbol fructifica en septiembre de cada año.

La madera del árbol es dura con albura blanquecina y corazón oscuro, con vetas purpureas cuando esta recientemente cortada, tornándose oscura con textura mediana. La madera mediana es de calidad y se usa para laminar la hoja y las chapas de viñetas y aglomerados, se la utiliza para carpintería en general y es durable para construcción de casa y ebanistería, en obras interiores, construcciones terrestres y en las mismas (Little & Dixon, 1969).

### **1.1.3. Ecología**

El Amarillo Guayaquil crece en bosques semidecuidos tropicales, especialmente a orillas de los ríos y caminos, esta especie es heleofita durable con abundante regeneración natural y sus semillas se diseminan por el viento. El árbol retoña después de haberse cortado. Este árbol florece de junio a agosto y presenta sus frutos maduros de septiembre a noviembre.

Esta especie es de crecimiento rápido (turnos de aprovechamiento en 15 años y de buena forma; además tiene buena comercialización para la industria maderera local y también, posee, mucho potencial en sistemas agroforestales por el tipo de sombra que brinda su copa para los animales y en el establecimiento de linderos, así como el árbol disperso en potreros (Little & Dixon, 1969)

#### **1.1.4. Condiciones biofísicas como precipitación, temperatura, evapotranspiración**

Los factores climáticos y topográficos del Amarillo Guayaquil determinan la distribución de los bosques secos en Ecuador, proyectan una buena introducción al clima de Ecuador. Varios autores han definido y descrito a las formaciones de vegetación de Ecuador; algunos para todo el país y otras para el sur del país (Kessler, 1992).

De acuerdo a Lozano (2002) conjuga los trabajos anteriores y se refiere a que la vegetación en las provincias del sur de Ecuador, y los bosques secos planteados en la presente investigación están basados en el trabajo con algunas modificaciones y extendiendo el análisis a todo el país.

Constan ciertas diferencias entre las formaciones considerado en el actual trabajo y la relación al que ya existe entre la temperatura, las precipitación y la humedad, se traduce, independientemente de los factores del suelo, en varias serie de respuestas fisiológicas y anatómicas similares de las plantas que viven en un mismo lugar, las cuales le imprimen su carácter fisionómico o apariencia general a la «zona de vida» que corresponde a las condiciones de temperatura, lluvia y humedad características de ese lugar (Cañadas, 1983).

La mayoría de los bosques secos montañosos bajos, se definen en una franja más estrecha, excluyendo a formaciones premontanas húmedas y caracterizadas por especies distribuidas en los bosques montañosos húmedos. Además, el bosque seco interandino del sur abarca el matorral seco montañoso y el bosque seco montañosos de (Cañadas, 1983).

Se puede anotar que en nuestros países tropicales se cree que el recurso bosque es abundante y solamente está esperando ser explotado (Lozano, 2002). En resultado, los productos forestales a diferencia de otras materias primas, nunca se planifican para satisfacer las necesidades de una industria cada vez más creciente. este punto de vista la tendencia en nuestro país, es considerar a la plantación de árboles como un arte, sin prestar atención a sus costos involucrados y sin preocuparse aún de cuál va a ser el futuro preciso de su

utilización (Cañadas, 2005). Simplemente se establecen las plantaciones, amparadas en el supuesto de que de algún modo estas van a ser explotadas, aprovechadas y utilizadas (Cañadas, 2007).

Estas plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento provenientes de regeneración natural, se constituyen en una robusta proposición económica (Cañadas, 2007). La elección de cada especie de los árboles debe basarse en las propiedades más adecuadas para satisfacer los futuros requerimientos de la industria, así como mantener un costo de producción bajo (Cañadas, 1983).

## **1.2. Desarrollo de modelos forestales**

El bosque sigue su desarrollo de acuerdo a las fases de sucesión y crecimiento natural sin disturbios ya que es una tierra sin manejo, este proceso que puede ser intermitente por pérdidas intermedias o daños de árboles causados por los vientos, fuego u otros eventos naturales. Por otro lado, en un bosque manejado, el evento periódico más trascendental de disturbio son las operaciones de aclareos, los cuales a menudo son llevados a cabo con intervalos regulares y usualmente tienen un efecto en la futura evolución del recurso forestal. Así, un modelo de desarrollo forestal realista incluye ambos eventos, el de crecimiento natural y los aclareos en su análisis (Gadow v. & Hui, 1993).

La clave de un manejo forestal sostenible es un apropiado entendimiento de los procesos de crecimiento de los bosques. Uno de los objetivos del modelaje del desarrollo forestal es proveer de herramientas que les permitan a los técnicos el manejo de recursos naturales y comparar las alternativas de los tratamientos silviculturales, acompañado de un análisis económico forestal (Gadow v, 1987). Por lo tanto, los profesionales forestales e ingenieros en manejo de recursos naturales necesitan anticipar las consecuencias de las diversas operaciones de un evento en particular (aclareos o desastre naturales sobre las masas boscosas, plagas, etc).

La producción en términos simples es definida por las dimensiones, la calidad de los atributos de fuste cosechados y la estimación de la obtención de un volumen ( $m^3$ ) maderable; estas condiciones son el punto central de las ciencias que abordan el crecimiento, producción y aprovechamiento forestal en la mayoría de

casos, el total de volumen ( $m^3$ ) de madera y por ende la captación de carbono es un procedimiento que tiene sus limitaciones en la cuantificación del crecimiento y la producción o los cambios causados por las operaciones de aclareos (Gadow & Hui, 1993).

La modelación del desarrollo es también un prerrequisito esencial para evaluar los resultados de una acción particular en el manejo y futuro desarrollo de un importante recurso natural, en este caso se presentan los ecosistemas forestales. Los modelos de crecimiento pueden abastecer información clave en relación a los cambios dinámicos, los cuales son una de las características menos tangibles de un bosque (Gadow, 2004). Esto se enmarca intrínsecamente en los conceptos de estabilidad, resistencia de un ambiente en particular afectado por procesos de contaminación ambiental o los valores estéticos que se le dan a la estructura forestal.

En donde predominan sistemas de selección de árboles individuales y manejos forestales disetáneo del amarillo, es necesario resaltar que, una gran proporción del mundo forestal es caracterizado por masas forestales disetáneas (Gadow, 2004). Un bosque coetáneo incluye una población regular de árboles con similares atributos, donde un simple modelo pretende describir adecuadamente un proceso. Un bosque disetáneo puede incluir diferentes dimensiones de árboles y patrones de crecimiento. Por lo que el resultado estructural presenta variaciones. De allí que es un desafío, el poder representar la evaluación de la complejidad de los bosques disetáneos mediante métodos sofisticados del modelaje forestal (Gadow v, 2004).

Esto no quiere decir que, un bosque coetáneo necesariamente siempre tiene características de plantación simétricas en el espaciamiento entre columnas e hileras. Este tipo de bosque, puede tener variaciones genéticas que le permiten a los individuos a tolerar mejor a la sombra, lo cual hace que domine y suprima a otros individuos de la misma edad. Por otro lado, un bosque con una mezcla de especies arbóreas, representa a diferentes ritmos de crecimiento específico y tolerancia a la sombra (Gadow v, 2004).

La táctica más apropiada para la modelación forestal es la determinación de los niveles de detalles a escala de los datos disponibles y el nivel de valor de la predicción forestal requerida, de tal manera uno de los modelos de rodal será utilizado, si los valores promedio de la población y el sitio en referencia de la información tales como el área basal están disponibles. Un modelo de árbol individual es apropiado, cuando atributos como el tamaño del mismo y su distribución espacial mediante coordenadas de sus vecinos inmediatos han sido determinados (Gadow v, 1987).

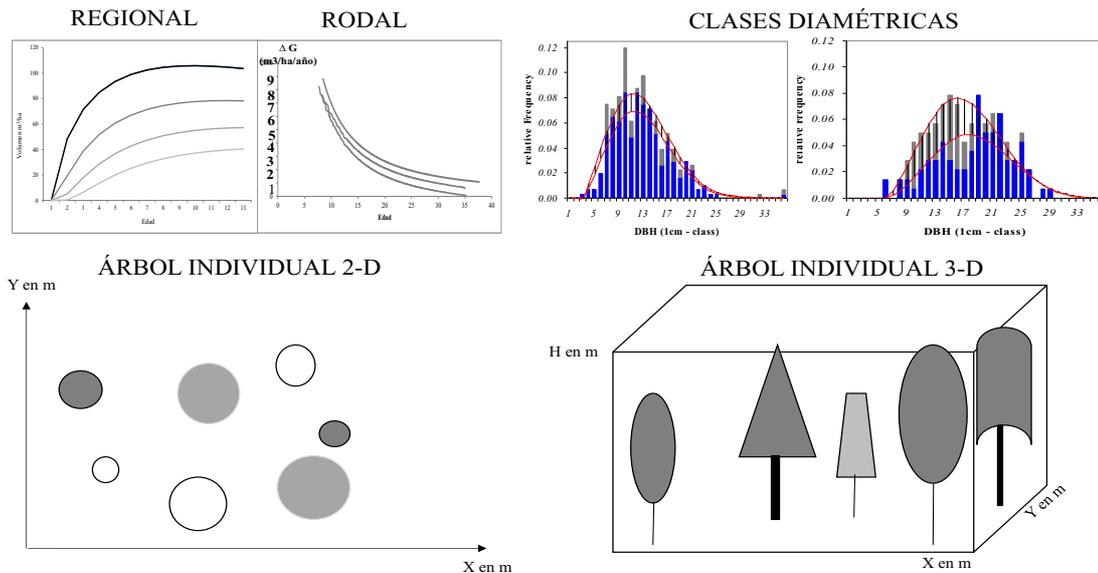
Estos modelos forestales de crecimiento en su mayoría son desarrollados en la base del levantamiento de datos empíricos provenientes de ensayos en parcelas. Esto tipos de parcelas suelen ser distribuidas de acuerdo a una base Geo estadística (Gadow v, 2004) y se constituyen en los cimientos para la elaboración de modelos forestales.

### **1.2.1. Tipos de modelos forestales**

Los modelos forestales representan la experimentación promedio de cómo los árboles crecen y cómo la estructura forestal se va modificando. El nivel de detalle de estos modelos difiere considerablemente. Así, los modelos forestales se alimentan de los detalles morfológicos como la ramificación, forma de fuste y crecimiento de raíces (Gadow v, 1987). Los modelos regionales de producción y de crecimiento de rodales producen una información agregada sobre el desarrollo de una población de árboles, las cuales deben ser interpretadas bajo diversas condiciones agroecológicas y modificaciones intermedias de los atributos de un rodal, a través de la intervención humana o de otros factores de disturbios (Cañadas, 1983).

Un modelo forestal permite hacer una razonable predicción sobre el crecimiento de los árboles y el desarrollo de un rodal. Esto podría ser alcanzado de diferentes maneras, dependiendo de las prioridades del usuario (Gadow v. & Hui, 1993). Los modelos de producción de madera están únicamente interesados con la parte comercial relevante de un árbol. La habilidad de simular el desarrollo de una rama de un árbol individual podría ser esclarecedor o edificante para un usuario del modelo, pero vital para otros propósitos de muchos modelos

forestales es elaborar un sistema comprensivo y lo suficientemente profundo que explique los procesos elementales del crecimiento de los árboles; esto se convierte en información relevante sobre la producción comercial, la cual es muy bien recibida por los productores e industria forestal (Gadow v, 2004).



**Figura 1.** Tipos comunes de modelos de incremento: Alta agregación de volumen ( $m^3$ ) sobre la edad para una predicción regional, modelo de rodal para la predicción del crecimiento de área basal como una función de la edad en confrontación con el área basal inicial, modelo de tamaño de clases para la predicción del movimiento de la distribución diamétrica y modelos de árboles individuales, los cuales requieren información espacial.

**Fuente:** Gadow v. 2004.

En algunas de la mayoría de tipos de modelos forestales han sido desplegados para propósitos específicos. Entre ellos difieren entre sí, en consideración de la totalidad, la aplicabilidad del concepto para un rango de circunstancias y la precisión, que es el grado de exactitud en las predicciones (Gadow v. 2004). Una alta exactitud es a menudo alcanzada a costa de una baja generalidad. Una jerarquía común de la mayoría de tipos de modelos se muestra en la Figura 1. A lo largo de los tipos comunes de modelos de desarrollo se está agregando altamente el volumen ( $m^3$ ) de madera en relación a la edad en los modelos de predicción regional.

En los modelos de rodales para la predicción del incremento del área basal como una función de la edad y el área basal inicial son posibles si se cuentan en dos mediciones consecutivas. En los modelos de clases de grosor independientes de la distancia entre árboles para predecir el desplazamiento de la distribución de diámetros y modelos de árboles individuales dependientes de la distancia entre árboles. Pudiendo ser desarrollados, si se dispone de información espacial en dos o tres dimensiones (Gadow v, 2004). En los Modelos regionales de producción están representados por una ecuación de alta añadidura entre producción sobre el tiempo, estos son empleados como un recurso de predicción, especialmente para pronosticar el desarrollo de una distribución dada de clases con los años, en respuesta a una serie de niveles de aprovechamiento forestal. En consiguiente, los modelos de aumento de rodales, requieren de una mayor información y por ende entregan un elevado nivel de detalles, ciñendo estimaciones de la altura dominante, área basal y fustes por hectárea (Gadow v, 1987).

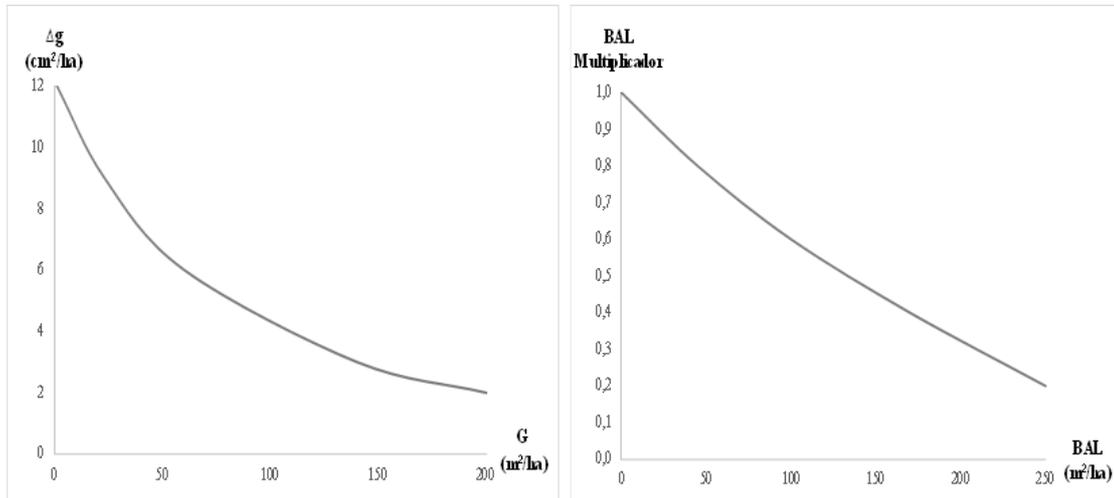
### **1.2.2. Evaluación cualitativa**

Uno de los principales objetivos de la valoración cualitativa de un modelo de crecimiento es la examinación del ajuste de los mecanismos propios del modelo. Consecuentemente, el modelo en conjunto es lógicamente consistente, en concordancia con los procesos biológicos elementales que representa y que responde a las expectativas de varios tratamientos silviculturales. Un ejemplo que ilustra una evaluación cualitativa de un modelo de área basal de un árbol individual para *Pinus palustris* fue presentado por (Quicke et al., 1994). El crecimiento basal de un árbol ( $\Delta g$ ) es exhibido aplicando la siguiente ecuación:

$$\Delta g = (\text{BA submodelo}) * (\text{BAL multiplicador}) * (\text{diámetro} - \text{edad del multiplicador})$$

Los subcomponentes propios fueron ajustados simultáneamente a los datos, con esto restan el error general del modelo. El término  $\Delta g$  del modelo describe con un aumento del área basal como una función de la misma en un rodal:  $\Delta g = 11.52 * \exp(-0.0897 * G^{0.5})$ , tomando una edad constante, el diámetro y la competencia de la posición de los árboles. Un incremento en el crecimiento del área basal

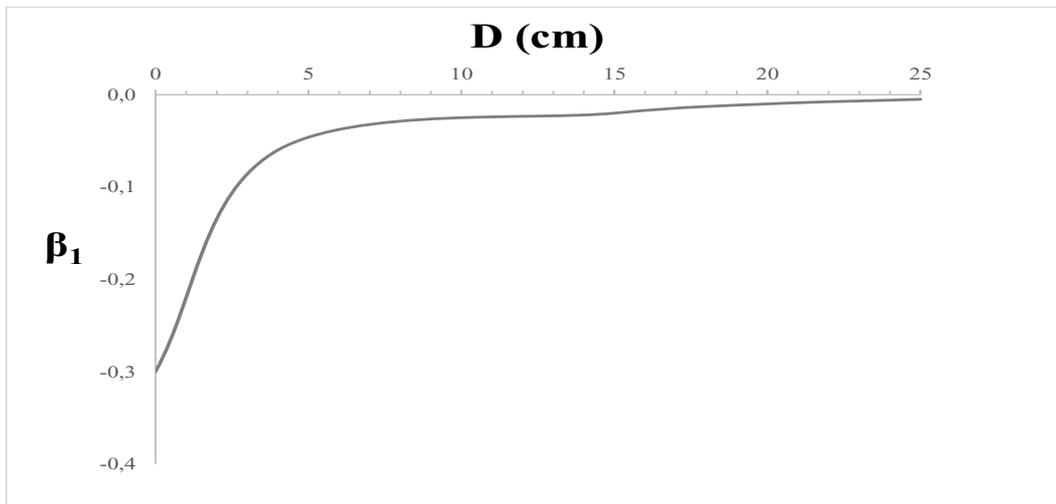
individual es predecible con un decrecimiento del área basal de un rodal como se describe en el lado izquierdo de la Figura 2.



**Figura 2.** Dos componentes de un modelo. Izquierda: El efecto del área de un rodal sobre el incremento del área basal de un árbol. Derecha: El efecto de competencia sobre el valor del BAL (Basal Area Large) multiplicador.

**Fuente:** Quicke et al., 1994.

Mientras el primer componente del modelo describe el efecto de la densidad general, el segundo está concerniente con la posición competitiva de los árboles dentro de la población de un rodal. Esto es expresado como la suma del área basal de todos los árboles de mayor envergadura que el árbol objetivo BAL (Mayor Área Basal). El BAL multiplicador es una función, la cual se expresa de la siguiente manera:  $\exp(0.00495 \cdot \text{BAL})$  y se puede asumir valores entre cero y uno, como se muestra en la siguiente Figura 3.



**Figura 3.** Efecto del diámetro de un árbol con diámetro D (cm) y edad sobre el parámetro  $\beta_1$ .

**Fuente:** Quicke et al., 1994.

En términos experimentales, el crecimiento del área basal puede ser desdoblado en dos elementos. El multiplicador de edad =  $\exp\beta_1 \cdot \text{edad}$  y en términos de diámetro  $\beta_1 = 0.3455 \cdot [1 - \exp(-0.5566 \cdot D)] - 0.303$ . El parámetro  $\beta_1$  determina el grado, al cual el multiplicador de edad se acerque a cero (Figura3).

El tercer coeficiente (-0.303) determina la intercepción con la coordenada X. La asíntota superior es definida por la diferencia entre el primero y tercer coeficiente (0.3455, -0.303), mientras que el segundo coeficiente describe el grado al cual esta asíntota es alcanzada. Como se puede esperar, el multiplicador d-edad decrece con el incremento de la edad del rodal y disminuye el diámetro del árbol, con G y BAL, cuando estos parámetros permanecen a un nivel constante. Por consiguiente, no hay un potencial predefinido de la función de crecimiento sobre el modelo. Esto se traduce en la robustez del modelo que añade consistencia y ofrece una reducción del error global. Es de fundamental importancia, la evaluación de la performance del modelo involucrando árboles provenientes de otros sitios (Gadow v. 2004).

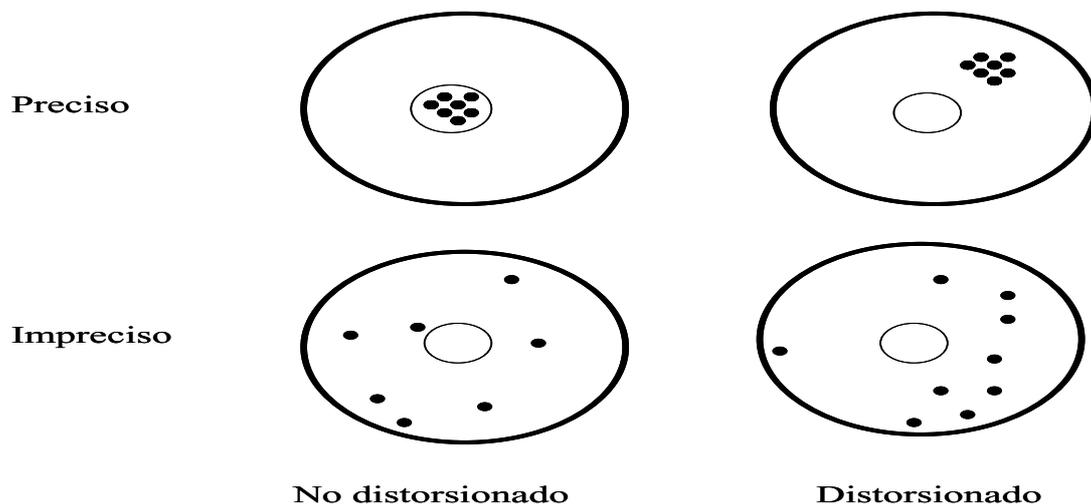
La destreza del modelo para fingir razonablemente el incremento de biomasa para árboles bajo un crecimiento libre fue experimentada bajo una condición de crecimiento abierto con similar área basal de un rodal y BAL igual a cero. Un ensayo que implique una comparación entre la simulación del desarrollo del diámetro predicho con el observado provenientes de 81 árboles de crecimiento abierto mostró que, el modelo fue idóneo para proveer una buena aproximación del potencial de crecimiento. De tal modo, la lógica específica del modelo se

basó en el rango máximo de crecimiento resultante de la interacción entre el área basal, edad, diámetro del rodal con el BAL multiplicador igual a 1 para los árboles de grandes dimensiones (Gadow v. & Hui, 1993)

La evaluación cualitativa examina, si la conducta del modelo fuera del rango de la disponibilidad de datos es razonable, si los signos, los valores de los coeficientes son plausibles y el modelo corresponde a un proceso biológico específico. Si representa a los flujos de energía y nutrientes acordes con los principios básicos fisiológicos y con esto se logra asegurar un confiable flujo de masa y energía (Gadow v. & Hui, 1993).

Por lo expresado, el crecimiento no puede ser mayor que la producción fotosintética y eficiencia de conversión, lo que permite la disponibilidad de los nutrientes de un sitio forestal definitivo. En tanto que, en referencia a la evaluación (Bossel, 1994) marcó que, la dependencia de los diferentes procesos sobre los parámetros ambientales (temperatura, radiación, niveles de nutrientes) es expresada en proporción directa de las restricciones ambientales y la detección de este tipo de variaciones es un punto fuerte de un modelo.

La evaluación minuciosa y la disposición de un modelo es la adaptada medición para afirmar que la formulación y simulación de varias técnicas no sea demasiado simple o inadecuado. Al contrario, haciendo un modelo muy complejo, requiere de mayor cantidad de parámetros, produciendo el incremento del número de interacciones agregados entre los procesos propios (Gadow v, 1987). Esto implica grandes detalles, una mejora, el entendimiento y la descripción realística de los procesos, pero esto es alcanzado a costo del aumento de la complejidad del modelo. Por lo que es difícil aceptar que un modelo no puede ser evaluado de tal manera que el nivel apropiado de complejidad sea definido por la habilidad de presentar una estimación comprensible del mismo (Gadow v, 1993).



**Figura 4.** Un objetivo imaginario y distribución de residuos, ilustrando el concepto de precisión y BIAS. Una predicción precisa y no distorsionada es precisa.

**Fuente:** Cañadas et al., 2012.

### 1.2.1 Caracterización del error del modelo

El error de un modelo es caracterizado por su magnitud y por la distribución de los residuos, puede ser evaluado mediante la comparación de un modelo con un juego de datos de observaciones independientes. Así tenemos que, un concepto importante en la evaluación de un modelo es la noción de BIAS y de precisión, las cuales determinan la fidelidad de una predicción. Estas medidas fueron introducidas por ejemplo por y en algún contexto del muestreo forestal y son ilustrados en la Figura 4. El promedio de los residuos de la raíz cuadrada del error mediano es una medida del promedio de las BIAS de un modelo. Cuenta la magnitud de direccionamiento, por ejemplo, el tamaño de un sobre y sub estimación del modelo (Bortz & Schuster, 2010).

Los Índices de criterios de precisión son el promedio absoluto, de los residuos o promedio absoluto de la discrepancia, la raíz cuadrada de error promedio, la eficiencia de un modelo y el radio de la varianza, el residuo absoluto promedio mide el promedio del error asociado con la simple predicción, por lo que la raíz cuadrada del error medio cuadrático se basa sobre la suma de cuadrados, el cual proporciona más peso a la mayor discrepancia entre datos observados y predichos por el modelo. Este índice de eficiencia del modelo es análogo al  $r^2$  y proporciona una medida relativa de la performance del modelo. El radio de varianza medida sobre la varianza estimada como una proporción de los datos observados (Bortz & Schuster, 2010).

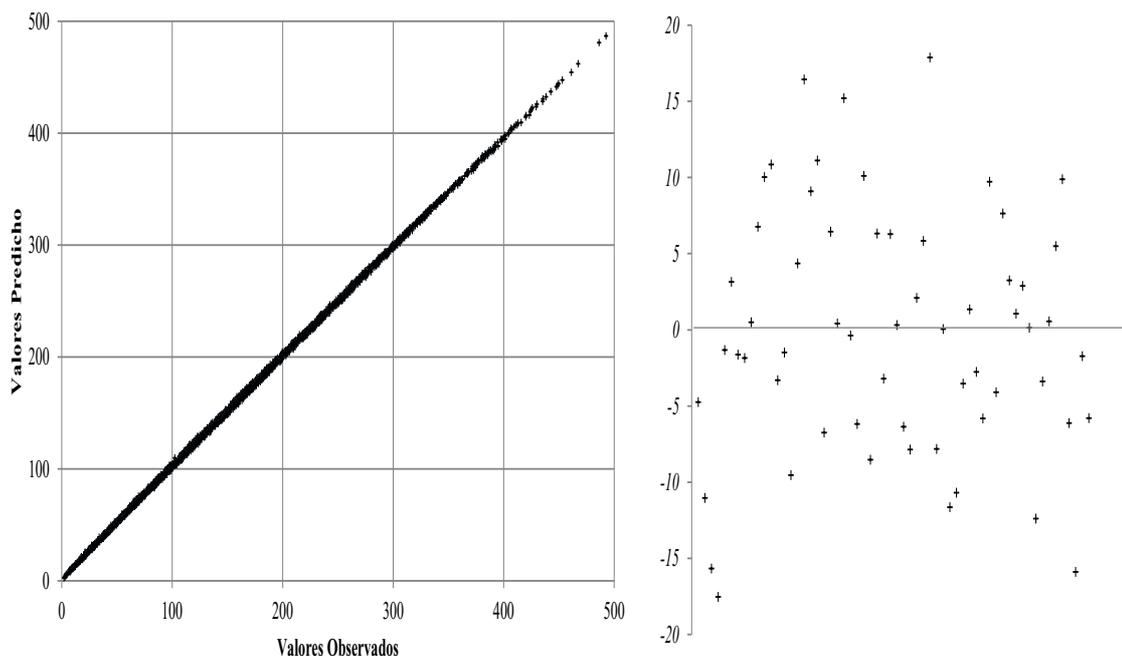
Los criterios residuo promedio, raíz cuadrada del error promedio medio cuadrático, eficiencia del modelo y radio de varianza podrían ser expresados como valores relativos, los cuales son más reveladores, cuando se comparan mediciones con diferentes unidades de medida. Obviamente, el número de índices que pueden ser aconsejados para evaluar la performance de un modelo es ilimitado. Hay una cantidad de posibilidades para medir la precisión de un modelo y es muy difícil en la práctica clasificar a los diferentes índices. Debido principalmente a que, ellos miden diferentes criterios. Un buen índice es aquel que entrega valores interpretables y son referenciales, proporcionando valores máximos, mínimos u óptimos de acuerdo a las BIAS, como se muestra en la Tabla 1.

<b>Criterio</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor ideal</b>
Raíz del cuadrado medio del error (MRES)	$MRES = \frac{\sum (y_i - \gamma_i)}{n}$	0
Valor Absoluto de la Raíz del cuadrado medio del error (AMRES)	$AMRES = \left  \frac{y_i - \gamma_i}{n} \right $	0
Raíz cuadrada del error promedio medio cuadrático (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \gamma_i)^2}{n-1-p}}$	0
Eficiencia del modelo (MEF)	$MEF = \frac{\sum (y_i - \gamma_i)^2}{\sum (y_i - \gamma_i)^2}$	0
Radio de varianza (RV)	$RV = \frac{\sum (\gamma_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$	1

**Tabla 1.** Cuatro criterios para la evaluación del ajuste de un modelo. MRES mide las BIAS, los cuatro criterios restantes indican la precisión de un modelo ( $y$ =valores observados;  $\gamma$ =valores predichos;  $(y - \gamma)$ = residuos;  $p$ =número de parámetros del modelo).

Fuente: **Cañadas et al., 2016**

Uno de los procedimientos más empleados, para la evaluación de un modelo es el análisis de los residuos (lo observado menos lo predicho) para todas las posibles combinaciones. La meta es detectar alguna dependencia o patrones que indiquen una sistemática subordinada. Los valores observados podrían ser graficados sobre los datos predichos, o los residuos sobre los datos observados, criterios que son expuestos en la Figura 5. Un objetivo importante de la evaluación de un modelo es la detección de la dependencia del error. Los errores podrían influenciar la proyección del período, edad de un rodal o la altura de los árboles. El criterio promedio de residuos (para evaluar las BIAS) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (para evaluar la precisión) fueron empleados por (Cañadas et al., 2016) para evaluar la precisión de modelos desarrollados para determinar un modelo de ahusamiento en Chile.



**Figura 5.** Visualización de los residuos. Izquierda: datos observados ploteados sobre los valores predichos Derecha: residuos ( $y - \hat{y}$ ) ploteados.

**Fuentes:** Cañadas et al., 2016.

## CAPÍTULO II

### 2. Materiales y Métodos

#### 2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 2.2. Población y muestra

**2.2.1. Población:** Debido a ser una especie no descrita en la literatura científica difícilmente se puede establecer la población

**2.2.2. Muestra:** En el siguiente cuadro se resume los sitios de muestreo que fueron evaluados; tomando los datos de 30 árboles por sitio dispuestos como cercas vivas.

Provincia	Sitio
Guayas	Cerro Blanco Petrillo Manglare Alto Churute
Manabí	Pedro Pablo Gomes Santa Ana / Olmedo Jipijapa Humedal "La Segua"
Esmeraldas	Quinindé Rio verde
Los Ríos	Pichilingue Buena Fe Patricia Pilar

**Tabla N° 2** En esta tabla se muestran los lugares donde se encuentran las poblaciones del Amarillo Guayaquil

**Fuente:** Los Autores

### **2.3. Parámetros de crecimiento de especies forestales**

Para la medición de la altura de cada árbol, se utilizó una pistola “HAGA” y su respectiva regla graduada a escala 1:15. Se tomaron la altura total desde el nivel del suelo hasta la yema terminal y la altura hasta la primera rama (altura comercial) de todos los árboles. La circunferencia se midió diamétrica en cm. En los casos en que se encuentren nudos a la altura de la medición, se efectuarán dos mediciones a 10 cm, arriba y abajo del 1.30 m. (CAP).

### **2.4. Marcación de la circunferencia**

Para marcar la circunferencia a la altura del pecho (CAP), o sea a 1.30 m, en cada árbol se empleó una regla graduada de ciento treinta centímetros. Esta se colocará junto al árbol, haciendo coincidir su extremo inferior con la superficie del suelo (parte superior de la pendiente).

### **2.5. Levantamiento de la información de campo**

Para la evaluación del Amarillo Guayaquil, se estableció parcelas de intervalo. Las primeras mediciones las realizó el INIAP y serán actualizadas en la presente investigación. De tal manera que, se tiene un intervalo entre dos mediciones y corresponden a un período de crecimiento sin perturbación por un lapso de 3 años. Por otro lado, las parcelas de intervalo se pueden establecer sobre un amplio rango de sitios, estados de desarrollo y tratamientos silvícola. Estas parcelas combinan las ventajas de las parcelas permanentes y temporales (Trincado & Gadow, 1996).

En dichas parcelas, se evaluó tasas de crecimiento para diferentes estados iniciales y tras una espera mínima se dispone de datos adecuados para modelar procesos (Cañadas, 2005). Se representa la forma de las parcelas en la que se tomaron los datos a nivel de campo. Las parcelas de muestreo son ordenadas al azar, con la finalidad de abarcar todas las clases posibles de productividad y estructura de los bosques.

De tal forma que, se puede obtener una prueba representativa del rendimiento forestal (Crecimiento en diámetros y Altura en un periodo de 4 años) y de sus diferencias de crecimiento entre las diversas localidades de Bosque Seco Tropical.

El tamaño de las parcelas son de 1,000 m<sup>2</sup> y de forma circular, con la ayuda del equipo técnico del INIAP se levantaron los siguientes parámetros forestales: Diámetro a la Altura del Pecho, Altura Ancho de Corona, Base de Corona, Posición Social de los Árboles y Poder de Crecimiento de cada árbol.

## **2.6. Determinación de parámetros productivos agroforestales**

Se estableció la evaluación del potencial forestal del Amarillo Guayaquil en parcelas temporales, las mismas que proporcionarán una rápida solución en situaciones, donde no existen datos sobre el desarrollo forestal. Dentro de estas parcelas se medirán una vez pero cubren un amplio rango de edades y de sitios como es el caso de estas plantaciones forestales.

## **2.7. Índice de Sitio (IS)**

El modelaje de crecimiento se derivará de una función de índice de sitio propuesta por Schumacher (Schumacher, 1939) que relaciona las variables de altura – edad de la siguiente forma:

$$H = a * \exp^{-b\left(\frac{1}{E}\right)} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde H representa la altura promedio de los árboles dominantes y codominante, E la edad, a y b son los parámetros del modelo. IS se considera que el Índice de Sitio (IS) se define como la altura que se logra a la edad base (Eb), entonces el mismo modelo (Ec. 1) permite estimar la altura IS (la altura), dado que la altura definida por el IS debe estar, teóricamente, sobre la misma trayectoria de la curva de Índice de Sitio. De aquí que sustituyendo E por Eb en Ec 1., se puede estimar el IS a través de la relación:

$$IS = a * \exp^{-b\left(\frac{1}{E_b}\right)} \quad \text{Ec. 2}$$

Relación que brindaría el valor de IS, si se conociese el valor de a y b para la curva definida en Ec 1. El procedimiento tradicional para la construcción de familias de curvas de índice de sitio a partir del modelo (Ec. 2), requiere de la suposición de la forma de la familia de curvas.

Sin embargo, la derivación de esta forma depende de la forma funcional que se haya elegido. Si se quiere la forma de la familia de curvas de índice de sitio que se desea obtener es del tipo anamórfico, ello implica que las curvas deben tener las misma forma.

Considerando el modelo (Ec. 1) entonces el parámetro a (de escala) se asumirá variable, mientras que el parámetro de forma (b) permanecerá constante (lo que garantiza la misma forma).

Despejando a de (Ec. 1), se obtiene la función que muestra la variación de a con cambios en edad y altura (Ec 4), esto muestra cómo debe cambiar la escala de la función (Ec. 1) para diferentes curvas dentro de la misma familia definida por el modelo (Ec. 1) y los parámetros a y b.

$$a = \frac{H}{\exp^{-b\left(\frac{1}{E}\right)}} \quad \text{Ec. 3}$$

Sustituyendo (Ec. 2) en (Ec. 3) se obtiene la siguiente función anamórfica de Índice de Sitio para el modelo definido en (Ec. 4).

$$IS = \left( \frac{H}{\exp^{-b\left(\frac{1}{E}\right)}} \right) * \exp^{-b\left(\frac{1}{E_b}\right)} \quad \text{Ec. 4}$$

## **2.8. Volumen de árbol (m<sup>3</sup>) estimado para el Amarillo Guayaquil**

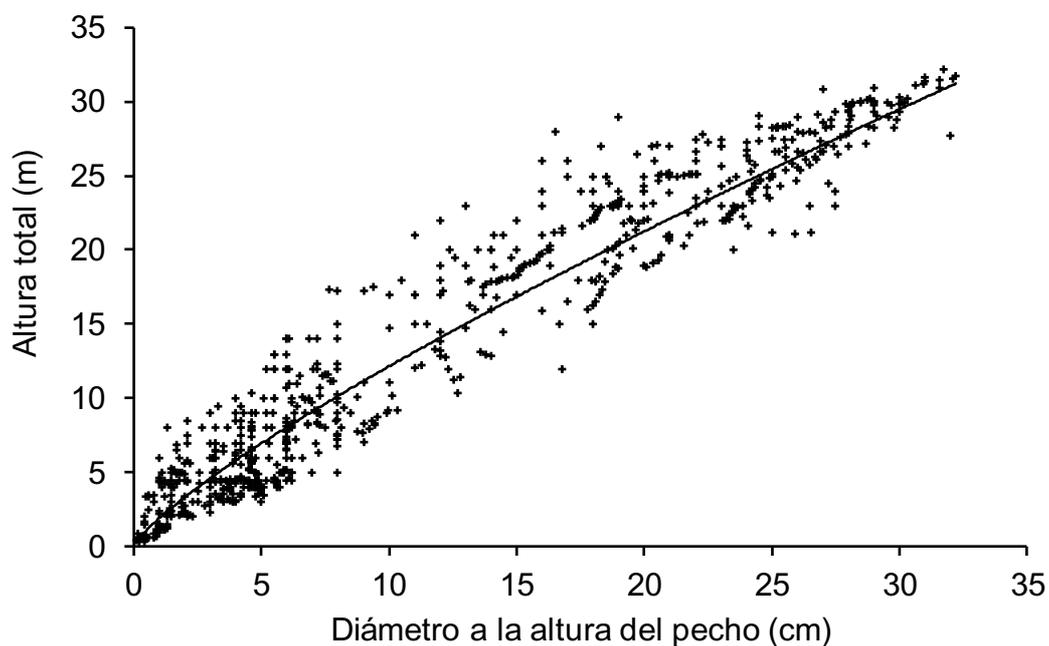
Debido a la no disponibilidad de árboles de Amarillo Guayaquil corregidos en los SPS estudiados, la poca seguridad en relación al factor de forma de fuste de la Amarillo Guayaquil bajo SPS (plantación en hileras), condiciones heterogéneas de sitio, el volumen (m<sup>3</sup>) fue inferida indirectamente mediante las siguientes variables independientes como la medición del diámetro a la altura del pecho, altura a la mitad del árbol, altura a la primera rama y altura total fueron recolectados de 500 árboles.

## CAPÍTULO III

### 3. Resultados obtenidos

#### 3.1. Relación diámetro altura para Amarillo Guayaquil

En la Figura 6 se muestra la relación estocástica entre diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total del Amarillo Guayaquil en cuatro provincias para un total de 1400 árboles.



**Figura N° 6:** Relación diámetro altura para 1400 árboles de 4 provincias de la costa ecuatoriana para Amarillo Guayaquil.

**Fuente:** Los Autores.

Con la finalidad de establecer un modelo que se ajuste a la relación diámetro altura, se desarrollaron 6 modelos de árboles provenientes de bosque templados, los mismos que fueron parametrizados para la relación con Amarillo Guayaquil. Tabla 3.

Autores	Modelo de Referencia	Parámetros del modelo		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
		a	b		
1) Lineal	$h = a + b * d$	20.5934	0.9789	0.9280	0.9633
2) Potencial (Prodan et al., 1997)	$h = 1.3 + a * d^b$	1.4264	0.8899	0.9315	0.9651
3) Wykoff et al. (1980)	$h = 1.3 + \left( \frac{a * d}{b + d} \right)$	0.0027	0.1518	0.9315	0.9614
4) Bates y Watts (1980)	$h = 1.3 + a * (1 - \exp(-b * d))$	68.2166	0.0182	0.9342	0.9665
5) Buford (1986)	$h = 1.3 + 10^a * d^b$	0.1542	0.8899	0.9315	0.9651
6) Prodan et al. (1997)	$h = 1.3 + 10^a$	0.3551	0.8899	0.9310	0.9649

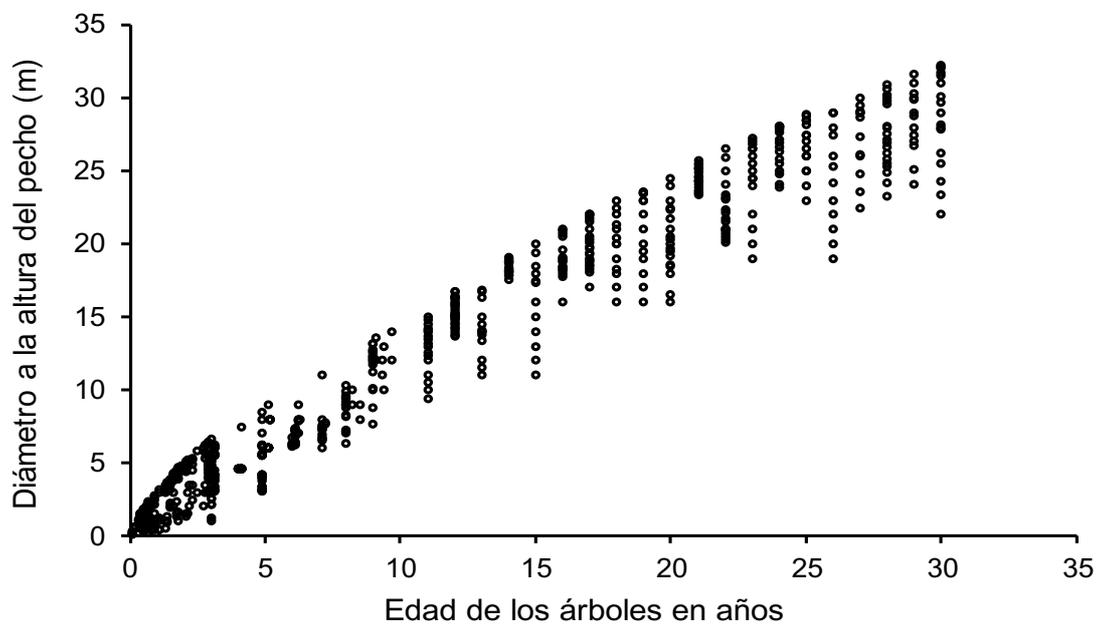
**Tabla N° 3:** Seis funciones para describir la relación diámetro altura para el Amarillo Guayaquil, dentro de 4 provincias de la costa del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores

Del análisis del coeficiente de determinación presentado en la Tabla 3, se desprende que el modelo propuesto por (Bates & Watts 1980) se ajusta adecuadamente para describir la relación diámetro altura del Amarillo Guayaquil para 1400 árboles en cuatro provincias del Ecuador, como un descriptor de crecimiento de esta especie nativa del bosque seco Neotropical.

### **3.2. Modelos para describir el crecimiento del diámetro con el transcurso de la edad de los árboles de Amarrillo Guayaquil (Índice de Sitio).**

Como corolario del crecimiento del diámetro con el transcurso de los años es presentado en la Figura 7. Las estadísticas descriptivas de los árboles muestreados para la edad promedio fueron 10.68 años, una desviación estándar de 9.32 y un error estándar de  $\pm 0.01$  años. Mientras que en diámetro se obtuvo un promedio de 12.00 cm, desviación estándar de 9.33 y un error estándar de  $\pm 0.01$  años.



**Figura N° 7:** Ploteo de los datos obtenidos en campo en relación a la edad de los árboles en cuatro provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores.

En la Tabla 4 se resumen los principales parámetros encontrados en la descripción del crecimiento del diámetro con el pasar del tiempo. De los resultados obtenidos podemos establecer que la función desarrollada por (Weber, 1891 en Kiviste et al., 2002) es la que mejor describe el crecimiento diamétrico del Amarillo Guayaquil debido a los valores mayores observados tanto para el coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado y del valor medio cuadrático.

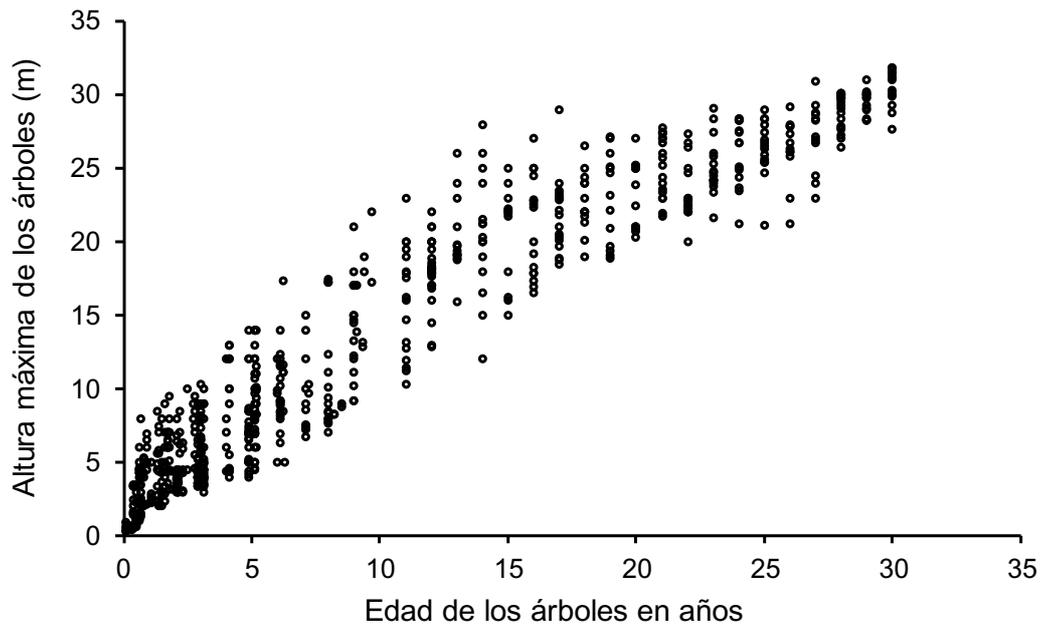
Autores	Parámetros del modelo		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
	a	B		
Schumacher (Schumacher, 1939)	37.1482	10.0494	0.9246	0.9615
Hossfeld 1 (Kiviste et al., 2002)	1.3506	0.1444	0.9513	0.9753
Terazaki (Kiviste et al., 2002)	3.6149	10,050	0.9246	0.9615
Weber (Kiviste et al., 2002)	53.2064	0.0262	0.9618	0.9807

**Tabla N° 4.** Modelos matemáticos para describir el índice de sitio para el diámetro en cuatro provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores

### 3.2.1. Modelos para describir el crecimiento en altura con el transcurso de la edad de los árboles de Amarillo Guayaquil (Índice de Sitio).

Las estadísticas descriptivas para este parámetro forestal en relación a la altura máxima se obtuvo un promedio de 13.82 m, desviación estándar de 9.49 m y un error estándar de  $\pm 0.02$  m.



**Figura N° 8:** Índice de sitio para la altura total para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores.

En la Figura 8 se representa la altura máxima en relación a la edad de los árboles. Esta información es la base para desarrollar los modelos propuestos en la presente investigación. Por otro lado, un parámetro fundamental dentro de las ciencias forestales es la descripción del Índice de Sitio. Es decir, el poder pronosticar el crecimiento en altura de los árboles de Amarillo Guayaquil con el transcurrir del tiempo.

Autores	Parámetros del modelo		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
	a	b		
Schumacher (Schumacher, 1939)	34.2268	7.0298	0.8838	0.9401
Hossfeld 1 (Kiviste et al., 2002)	36.9258	-32.2421	0.4031	0.6349
Terazaki (Kiviste et al., 2002)	3.5330	7.0300	0.8839	0.9401
Weber (Kiviste et al., 2002)	35.8261	0.0554	0.9266	0.9626

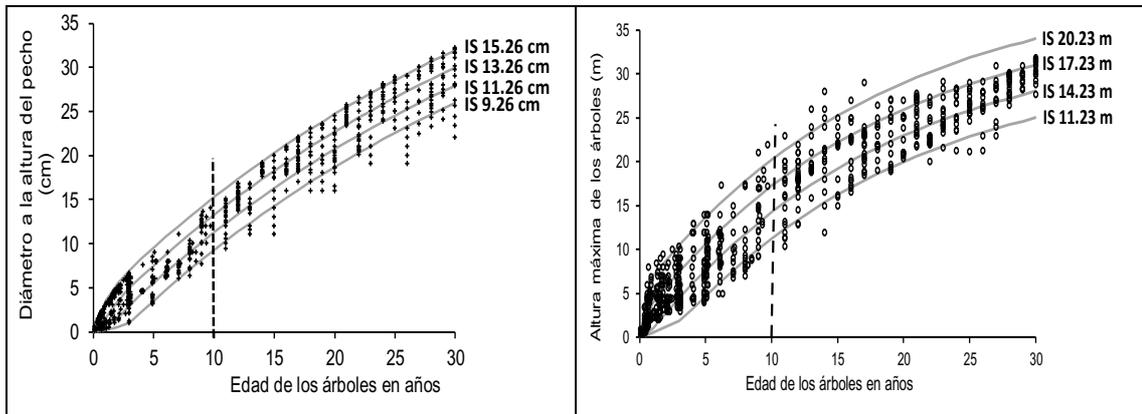
**Tabla N° 5.** Modelos matemáticos para describir el índice de sitio para la altura máxima en cuatro provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores

El modelo de (Weber, 1891 en Kiviste et al., 2002) es el modelo para predecir el crecimiento en altura máxima para el Amarillo Guayaquil debido a sus bondades de ajuste observados como es su coeficiente de determinación (0.9266), coeficiente de determinación ajustado (0.9626) y del valor medio cuadrático (0.001).

### **3.2.3. Producción del Amarillo Guayaquil en relación al diámetro y altura (Índice de Sitio).**

En la Figura 9 se presentan los rendimientos tanto en diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura máxima con la edad. En relación a los diámetros a la edad de 10 años el DAP fue de 15.26 cm en los mejores sitios como en la provincia de Los Ríos y Manabí, mientras que en los sitios donde se registraron bajos rendimientos fueron en la provincia de Esmeralda con 9.26 cm de DAP donde la precipitación es escasa. Mientras que para la altura máxima se registraron 20.23 m en los mejores sitios los Ríos y Manabí, A diferencia a la menor altura se registró en Esmeraldas con 11.23 m.



**Figura N° 9:** Índice de sitio para DAP y altura máxima para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.

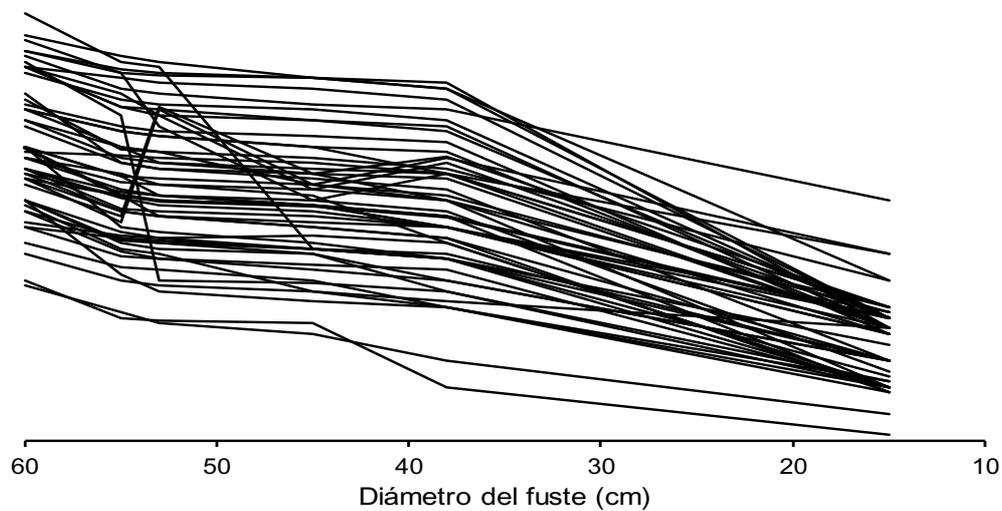
**Fuente:** Los Autores.

Dentro de las cinco provincias se presentó un gradiente de rendimiento forestal en relación a la precipitación reinante

### 3.2.4. Producción de volumen (m<sup>3</sup>) maderable del Amarillo Guayaquil

El fuste representa la parte maderable económicamente vendible del árbol. Por tanto, es fundamental conocer su forma es. En la Figura 10 se presenta el perfil de fuste del Amarillo Guayaquil en relación a la conicidad del mismo. Con la finalidad de establecer un modelo que permita el cálculo del volumen (m<sup>3</sup>) induciendo su predicción con parámetros fáciles de ser medidos se realizó el ajuste de modelos de volúmenes del Amarillo Guayaquil, los cuales se resumen los principales parámetros de evaluación en la Tabla 6. La ecuación alométrica propuesta por Schumacher-Hall es la que mejor se ajustó para la descripción de este importante parámetro forestal del Amarillo Guayaquil en comparación con los modelos desarrollados por Spurr.

La confrontación de los volúmenes observados en comparación con los volúmenes predichos por el modelo de Schumacher-Hall son representados en forma gráfica dentro de la Figura 10.



**Figura N° 10:** Índice de sitio para DAP y altura máxima para el Amarillo Guayaquil en cuatro provincias del Ecuador.

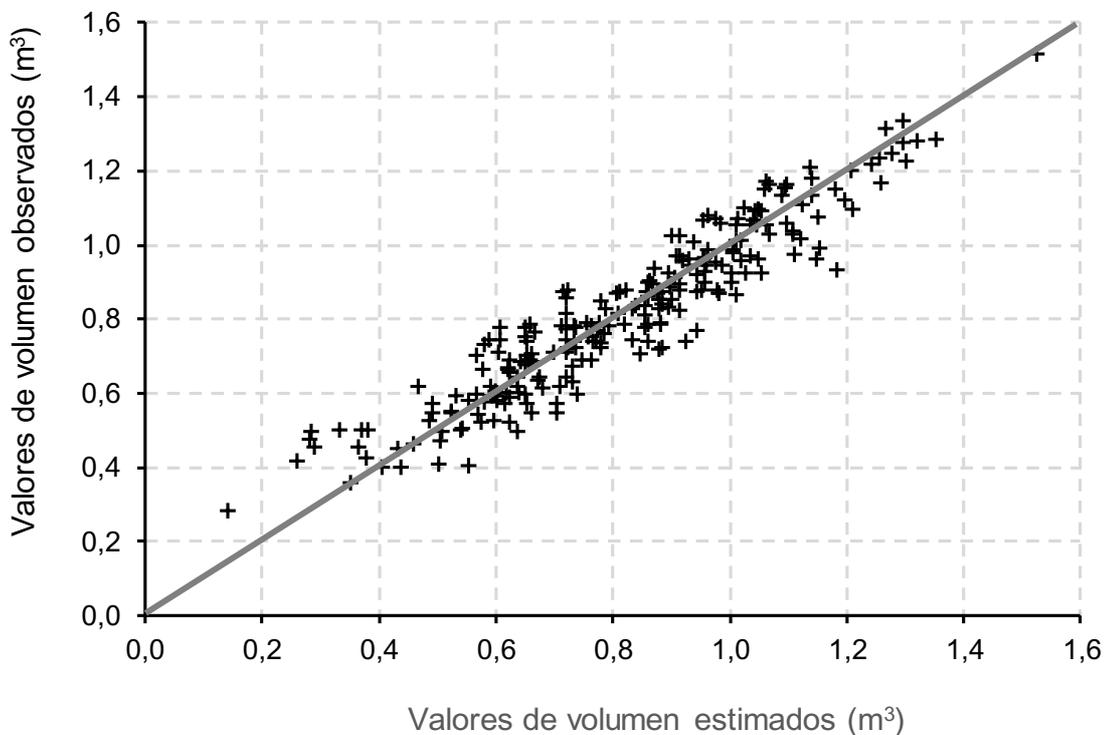
**Fuente:** Los Autores.

Autores	Parámetros del modelo			R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
	a	b	C		
Schumacher-Hall (Cañadas et al., 2018)	0.0548	0.9288	0.0306	0.8872	0.9419
Spurr Potencial (Cañadas et al., 2018)	0.0398	0.5369		0.8186	0.9048
Spurr Termino Independiente (Cañadas et al., 2018)	0.5422	0.00005		0.7549	0.8688

**Tabla N° 6.** Modelos, parámetros y coeficientes de determinación para describir el volumen (m<sup>3</sup>) del Amarillo en cinco provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores.

En la Figura 11 se puede observar que los residuos no muestran ninguna tendencia y avalan los resultados obtenidos en la presente investigación

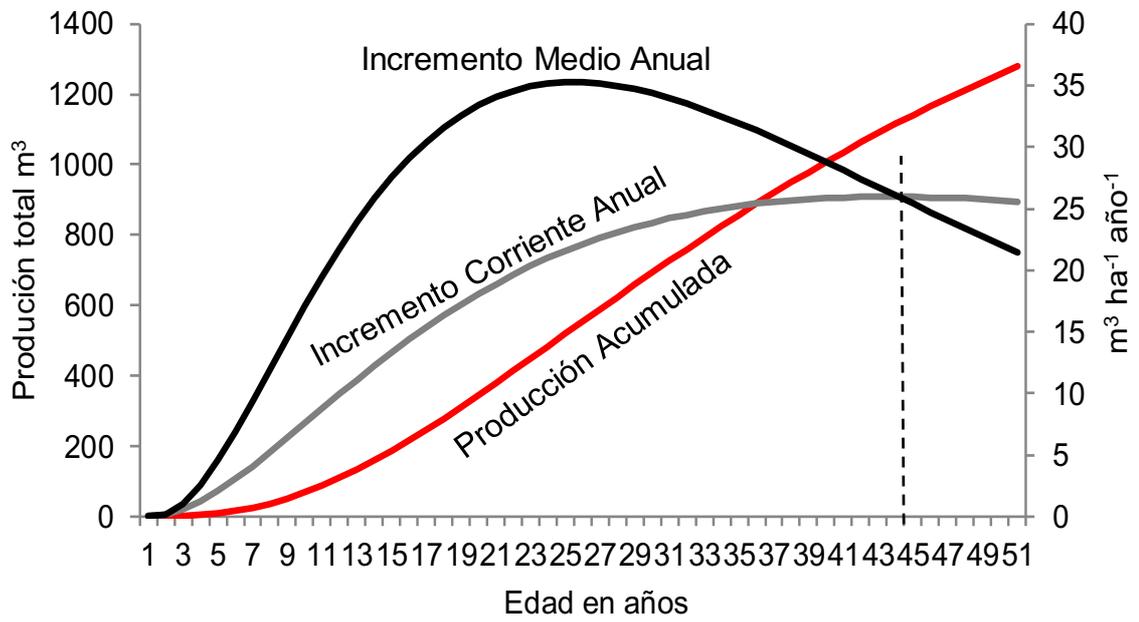


**Figura N° 11:** Análisis gráfico de residuos para los valores de volumen (m<sup>3</sup>) observado y predicho mediante el modelo Schumacher-Hall para el Amarillo Guayaquil en cinco provincias del Ecuador.

**Fuente:** Los Autores.

### 3.2.5. Producción del Amarillo Guayaquil expresado como punto de corte

En relación al turno de corta, en la Figura 12 se presenta las curvas de Incremento Medio Anual, Incremento Corriente Anual y Producción Acumulada de madera de Amarillo Guayaquil. La Figura 12 se refiere al mejor índice de sitio encontrado en la presente investigación que fue la provincia de Los Ríos. La producción total acumulada para un sistema agroforestal o silvopastoril con 400 árboles por hectárea sería de 1,115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un incremento medio anual de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y un incremento corriente anual de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Con estos datos su puede establecer que el turno de corte para sería a los 43 años.



**Figura N° 12:** Incremento medio anual, incremento corriente anual, producción acumulada y punto de corte para el Amarillo Guayaquil en la provincia de Los Ríos, Ecuador.

**Fuente:** Los Autores.

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1. Relación estocástica diámetro-altura para el Amarillo Guayaquil**

El levantamiento de información sobre la altura de los árboles es un procedimiento que consume tiempo y en ciertos casos es difícil encontrar el ápice de los árboles con la finalidad de establecer la altura total. De tal manera que el desarrollo de modelos para determinar la altura mediante la medición del DAP únicamente es de suma importancia para la evaluación de plantaciones de Amarillo Guayaquil en el Ecuador. Entre la altura de un árbol y el diámetro a la altura del pecho existe una relación estocástica, no lineal y esta relación es empleada para la estimación del volumen ( $m^3$ ) de los árboles y la evaluación de la altura dominante (Cañadas et al., 2016). La estimación precisa de esta analogía diámetro-altura es fundamental, debido a que la altura es normalmente predicha mediante la determinación de esta relación (diámetro-altura) antes de ser medida (Gadow et al., 2004). Como consecuencia de esto, los volúmenes individuales de los árboles son estimados a menudo de la medición del diámetro de todos los árboles. Mientras que, para la altura se instala sub-parcelas para la determinación de la altura (Cañadas et al., 2016, Cañadas, 2005).

El modelo propuesto por (Bates & Watts 1980) es el que mejor se ajustó a esta relación en esta investigación, después de desarrollar este modelo con un total de 1,400 árboles dentro de las cinco provincias. Esta relación fue desarrollada en el Ecuador por (Cañadas et al., 2016) para la Balsa. De tal manera que, los resultados de la presente investigación no pueden ser comparado con otras investigaciones en el Ecuador.

### **4.2. Modelos de crecimiento en diámetro y altura para Amarillo Guayaquil**

El índice de sitio es un fenómeno importante para los bosques naturales y plantaciones, los cuales reflejan el crecimiento y desarrollo de un rodal forestal. Los dos mayores componentes que influyen sobre el comportamiento de una plantación son los factores climáticos y edáficos. En estudios forestales sobre la calidad de sitio, han sido estimados con diferentes índices. No existe un simple índice basado directamente en parámetros ambientales, los cuales muestran

suficiente precisión en el modelaje del manejo forestal. La producción de madera podría ser el mejor indicador de la productividad del sitio, pero la medición del volumen ( $m^3$ ) de la producción es una tarea difícil y es mucho más confortable el uso de métodos más simples (Vanclay, 1994).

los crecimientos en altura son relativamente independientes de la densidad de un rodal, de tal manera que los aclareos no le afectan mayormente (Gadow v. 2004). La altura promedio puede también ser ajustada para describir la calidad del crecimiento en un sitio, siendo este criterio poco empleado en las ciencias forestales (Gadow v., 1986). Desde luego, con la finalidad de rehabilitar esta medición, se puede establecer una determinación entre la altura media y la altura máxima, que es altamente significativa y depende de la densidad de un rodal (Villiers & Van Laar, 1986).

Para el Amarillo Guayaquil de acuerdo a Cañadas et al. (2015) estableció modelos de sitio para diámetro y altura empleando el modelo de Chapman-Richards, pero no se mencionan los valores de ajuste para esta función. Lo que hace imposible comparar los resultados obtenidos en esta investigación realizada por (Cañadas, 2013). Es necesario resaltar que, el modelo de (Weber; 1891 en Kiviste et al., 2002) fue el que mejor ajuste presento tanto para describir el crecimiento del Amarillo Guayaquil en diámetro a la altura del pecho como para la altura máxima.

#### **4.3. Índice de sitio para diámetro a la altura del pecho y altura para el Amarillo Guayaquil**

Los mejores sitios para la producción de Amarillo Guayaquil se encuentran en la provincia de Los Ríos con un régimen de precipitaciones de 2.162 mm al año con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 15.26 cm a la edad de 10 años, mientras que en altura fue 20.23 m. Cañadas et al. (2018) señalaron que, para la Teca en la provincia de Los Ríos se obtuvo un índice de sitio en altura para sistemas silvopastoriles de 23 m a la edad de 10 años. Por otro lado, Cañadas et al. (2015) reportó índices de sitio para Amarillo Guayaquil de 19.5 m de altura, mientras que para el diámetro y de fue de 14.5 cm a la edad de 10 años, las áreas de investigación incluyeron la provincia de Los Ríos. Las diferencias

observadas entre los datos obtenidos por Cañadas et al. (2013) podría deberse a los modelos empleados y en el ajuste de las funciones. Cañadas et al (2015) emplea la función de Chapman-Richards, mientras que en la presente investigación fue el modelo de Weber (1891 en Kiviste et al., 2002).

#### **4.4. Producción de volumen maderable (m<sup>3</sup>) del Amarillo Guayaquil**

Existió una amplia variación en la forma del fuste de Amarillo Guayaquil debido a la variación del diámetro a las diferentes alturas del árbol. Cañadas et al. (2018) argumentaron que, la corona cuando crece por competir por luz, el árbol tiende a focalizar su crecimiento en altura, mientras que el crecimiento de la corona y el diámetro se incrementa en árboles aislados. Comparar con la forestaría convencional sería un error, debido a que los sistemas silvopastorales se caracterizan por una baja densidad de árboles (Cañadas y Siegmund-Schultze, 2004). De ahí que el concepto de corona dominante, no es aplicable debido a que en sistemas silvopastoriles existe una misma capa superior de árboles dominantes y codominantes (Cañadas, 2005). De ahí que, la forma del fuste se ve más fuertemente influenciado por la baja densidad de árboles que de la altura dominante.

Se desarrolló un modelo para determinar el volumen (m<sup>3</sup>) del árbol de Amarillo Guayaquil. Es necesario resaltar que, el fuste tiene un importante valor económico cuando se cosecha los árboles.

La producción total acumulada para un sistema agroforestal o silvopastoril con 400 árboles por hectárea sería de 1,115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un incremento medio anual de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y un incremento corriente anual de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (comparar con Cañadas et al., 2003). El modelo desarrollado por Schumacher-Hall fue el que mejor ajuste mostró para predecir el volumen (m<sup>3</sup>) del árbol utilizando variables que se emplean generalmente en la forestaría convencional. La evaluación de los residuos no mostró ningún tipo de tendencia y avalan los resultados obtenidos. Este modelo no puede ser comparado con otros modelos en el Ecuador y el mundo tropical.

#### **4.5. Ciclo de corta para Amarillo Guayaquil**

Con estos datos obtenidos se puede establecer que el turno de corte sería a los 43 años. Esta información puede ser contrastado con los rendimientos observados para la teca en sistemas silvopastoriles, donde densidades de siembra es de 400 como cercas vivas con una producción total de  $225 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en la provincia de Los Ríos.

Por otro lado, las producciones de Amarillo Guayaquil en áreas de bosque seco tropical (Cañadas, 1983) podría ubicarse en un ciclo de corta de 63 años y un incremento medio anual de  $3.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Son estos los rendimientos que describe (Cañadas & Roca 2010), los que ponen en serio problema a la reforestación con especies nativas en áreas marginales en relación a la disposición de agua.

## CONCLUSIONES

La hipótesis planteada en la presente investigación fue medir los rendimientos del Amarillo Guayaquil en sistemas de bosque nativos de regeneración natural, frente a los sistemas de bosque plantados y con densidad y distancia de acuerdo a los factores climáticos. La productividad del Amarillo Guayaquil en condiciones de riqueza de suelo y precipitación como se presenta en la provincia de Los Ríos con un clima que es templado lluvioso, cuyo régimen de precipitaciones es de 2.162 mm, a largo del todo el año los mejores resultados en un sistema de bosque, con una densidad de plantación de 400 árboles por hectárea es de 1,115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un incremento medio anual de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y un incremento corriente anual de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y un ciclo de corta de 43 años. Mientras que los de menor rendimiento se dio en el sitio. Esmeralda con una baja precipitación de 738 mm al año, con una densidad de 400 árboles por hectárea de 232 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un incremento medio anual de 3.69 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y un incremento corriente anual de 2.21 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con un ciclo de corta de 63 años.

Se cuenta con modelos matemáticas que pueden ser empleados en la práctica para la medición de crecimiento y producción del Amarillo Guayaquil, los cuales son inéditos en el Ecuador y son un aporte a la innovación del sector forestal y agroforestal. Estos se constituyen en unas herramientas indispensables como base para la toma de decisión sobre la conservación, manejo de la diversidad y programas de reforestación que están siendo conducidos por los GADs en las provincias investigadas.

Los mejores rendimientos para el Amarillo Guayaquil se dieron bajo mayores condiciones de precipitación como el caso de la provincia de los ríos en condiciones de los bosque seco tropical es fundamental tomar en cuenta los resultados de esta investigación para intematizar los costo de oportunidad mediante intensivo monetario a los reforestadores promocionados por los programa de fomento de plantaciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (Gads).

## RECOMENDACIONES

En la literatura de la revisión de esta tesis exhaustiva se encuentra muy poca información de especies nativas en el Ecuador, por tal motivo es fundamental iniciar la investigación de otras especies nativas debido los rendimientos modelos en crecimiento y producción.

La presente investigación presenta datos reales sobre el crecimiento y producción del Amarillo Guayaquil, esta es la base para iniciar otra investigación en el campo económico y ambiental para la captura de carbono y contrarrestar al cambio climático dentro del plan de acción REDD+, bosque para el buen vivir 2016-2025

Se recomienda realizar tesis de grado dentro de la Uleam extensión Chone con la finalidad de establecer los costos de oportunidad para especies nativas dentro del bosque seco tropical, con la finalidad de incentivar la reforestación de pequeños productores dentro del programa de reforestación, una vez que Manabí ha sido proclamada como provincia forestal.

Los modelos matemáticos demostraron ser una herramienta útil para determinar el crecimiento de especie forestal. Se recomienda ampliar la revisión estadística para salir del típico análisis de varianza.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, Z., & Kvist, L.P. (2006). Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador. *Lyonia*, 8(2), 41-67.
- Bates, D.M., & Watts, D.G. (1980) Relative curvature measures of nonlinearity. *J R Stat Soc B*, 42,1–16
- Bonan, G.B. (2008). Forests and climate change: forcing, feedbacks, and the climate benefits of forests. *science*, 320(5882), 1444-1449.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010) *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 7th edition. Springer, Berlin
- Bossel, H. (1994). *Modeling and simulation*. AK Peters/CRC Press.
- Buford, M.A. (1986). Height–diameter relationship at age 15 in loblolly pine seed sources. *For Sci* 32:812–818
- Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Editores Asociados. Ecuador. 210 p.
- Cañadas-L, Á., Andrade-Candell, J., Domínguez-A, J. M., Molina-H, C., Schnabel-D, O., Vargas-Hernández, J. J., & Wehenkel, C. (2018). Growth and Yield Models for Teak Planted as Living Fences in Coastal Ecuador. *Forests*, 9(2), 55.
- Cañadas, A., Rade, D., Dominguez, J.M., Vargas, J., Molina, C., Macias, C., & WEHENKEL, CH. (2017). Variation in seed production of *Jatropha curcas* L., under Tropical Dry Forest. *New Forest*, 48(6), 785-799.
- Cañadas, A., Rade, D., Domínguez, J. M., Murillo, I., & Molina, C. (2016). Modelación forestal como Innovación tecnológica para el manejo silvicultural y aprovechamiento económico de la Balsa, Región Costa-Ecuador. Ed. Abya Yala, Quito-Ecuador.
- Cañadas A., Rade D, Granja J, Zambrano C, Molina C., & Arce L. (2015) Condiciones de Crecimiento de *Centroblobium ochroxylum* especie nativa con

potencial agrosilvopastoril del Litoral Ecuatoriano. En: Primer Encuentro Nacional de Bosques, Recursos Genéticos Forestales y Agroforestales, INIAP.

Cañadas, A., & Rade, D. (2013). Bases Económicas y desarrollo Sostenible como plataforma para la formulación de proyectos ambientales. Centro Universitario de Investigación Ciencia y Tecnología CUICYT, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Cañadas, Á., Korol, M., Zambrano, C.H., & Camacho, B. (2012). Modelos descriptivos de corona para Laurel (*Cordia alliodora*) bajo sistemas agroforestales en el Bosque Protector Sumaco, Ecuador. ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 4(2).

Cañadas, A., & Vera, L. (2011) Forestería tropical al final del camino? Revisión del manejo sostenible de bosques nativos Tropicales. REVISTA ESPAM CIENCIA, 2, 27-36.

Cañadas, A., & Roca, A. (2010). Can the reforestation projects stop the extraction of wood from the Protected Forest Chongón-Colonche?. Tropentag, Bonn University, Development on the Margin, Tropentag, Bonn University, Development on the Margin.

Cañadas, A. (2007). Volumen y perfil de fuste para *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales del Bosque Protector Sumaco. Bosque Latitud Cero, 3, 15-20.

Cañadas, A., Argüello, J., & Urquiso, R. (2007). Sustitucionalidad y aumento de la eficiencia del uso de la riqueza natural, dilema ambiental ecuatoriano. Bosque Latitud Cero, 3, 30-33.

Cañadas, A. (2005). Providing information about natural resources as a base to support the decentralization of the forest sector in Canton Loreto. Research Centre of Forest Ecology, University Göttingen. Edition 192, Line A, 191 p.

Cañadas, A., & Siegmund-Schultze, M., (2004). Potential legumes to improve livestock production and biodiversity in the traditional Silvopastoral system in Canton Loreto, Ecuador. pp. 221-226. In: L.T. Mannelje et al., (ed.) The importance of Silvopastoral systems in rural livelihoods to provide ecosystems

services. Third International Symposium on Silvopastoral Systems. IUFRO, Mérida, Yucatan, México.

Cañadas, A.; Vilčko, F., and Gadow, K. v., (2003). Management of Laurel (*Cordia alliodora*) within agroforestry system in the Canton Loreto, Ecuador. p. 288. In: A. Wollny et al., (ed.) Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development. Deutscher Tropentag, Göttingen, Germany. October 6 - 8, 2003.

Clutter, J.L. (1963). Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest science*, 9(3), 354-371.

FAO. (2006). *Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards sustainable forest management*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Franz, F. (1968). Das EDV-Programm STAOET–zur Herleitung mehrgliedriger Standort-Leistungstafeln. Manuskriptdruck, Ludwig-Maximilians-Universität München, München.

Gadow, v., K. (2004). Forsteinrichtung. Steuerung und Analyse der Waldentwicklung. Beilage zur Vorlesung. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Universität Göttingen.

Gadow v, K., & Hui, G.Y. (1993). Stammzahlentwicklung und potentielle Bestandesdichte bei *Cunninghamia lanceolata*. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 110(2), 41-48.

Gadow v., K. (1987). Untersuchungen zur Konstruktion von Wachstumsmodellen für schnellwüchsige Platagenbaumarte. *Forstl. Forschungsberichte. Uni. München No 77*. 260 p.

Haggard, J. P., Briscoe, C. B., & Butterfield, R. P. (1998). Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Forest Ecology and Management*, 106(2-3), 195-203.

Hui, G. (1995). Zur Beschreibung der Bestandesgrundfläche nentwicklung dargestellt am Beispiel der Baumart *Cuninghamia lanceolata*. Allg. Forst-Uj. Ztg, 164(8),144-145.

INIAP. (2008). Informe Anual técnico. Programa de forestación. Estación Experimental litoral sur; Estación Experimental Portoviejo.

Kessler, M. (1992). The vegetation of South-west Ecuador. Pp. 79-100. En: B. Best (ed.). The threatened Forests of South-West Ecuador. Biosphere Publications, Leeds.

Kiviste, A., Álvarez González, J.G., Rojo Alboreco, A., & Ruíz González, D. (2002). Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Monografías INIA: Forestal N° 4, Madrid.

Lemm, R. (1991). Ein dynamisches Forstbetriebs-Simulationsmodell: Prognosen von betriebsspezifischen Waldentwicklungen, Waldschäden und deren monetäre Bewertung unter variablen Einflussgrößen (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Little, E.L., & Dixon, R.G. (1969). Arboles comunes de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. Cuerpo de Paz.

Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. Pp. 29-49 En: Aguirre, Z., Madsen, J.E., Cotton, E. & H. Balslev (eds.). Botánica Austroecuatorialiana. Abya Yala, Quito.

Murray, D. M., & von Gadow, K. (1993). A flexible yield model for regional timber forecasting. Southern Journal of Applied Forestry, 17(3), 112-115.

Pretzsch, H. (1992). Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, No 15, 150 p.

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real P. (1997) Mensura forestal. GTZ. IICA. Series de investigación y educación en desarrollo sostenible.

Portillo-Quintero, C.A., Sánchez-Azofeifa, G.A. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. Biological Conservation, 143, 144-155.

Quicke, H.E., Meldahl, R.S., & Kush, J.S. (1994). Basal area growth of individual tree – a model derived from a regional longleaf pine growth study. *For. Sci*, 40(3), 528-542.

Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. *J. For*, 37, 819-820.

Sterl, A., Severijns, C., Dijkstra, H., Hazeleger, W., Jan van Oldenborgh, G., van den Broeke, M., ... & van Velthoven, P. (2008). When can we expect extremely high surface temperatures?. *Geophysical Research Letters*, 35(14).

Toledo, M., Poorter, L., Peña-Claros, M., Alarcón, A., Balcázar, J., Leño, C., ... & Bongers, F. (2011). Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology*, 99(1), 254-264.

Trincado, G., & Gadov v., K. (1996). Zur Sortimentschätzung stehender Laubäume. *Zentralblatt für das gesamte Forstw*, 113(1), 27-38.

Vanclay, F. (1994). A crisis in agricultural extension. *Rural Society*, 4(1), 10-13.

Villiers, Y., & Van Laar, A. (1986). Studies of Growth and Stand Structure in Plantations of *Pinus patula*. *South African Forestry Journal*, 136(1), 15-21.

Wykoff, W.R., Crookston, N.L., & Stage, A.R. (1982) User's guide to the stand prognosis model. USDA Forrest service generation technical report. INT-133. Department of agriculture, forest service, intermountain forest and range experiment station

## ANEXOS



Apunte de los datos  
recolectados



Toma de datos del diámetro  
a la altura del pecho



Toma de datos de la altura  
total de los arboles



Toma de datos del diámetro  
y base del árbol



Apunte de los datos recolectados



Toma de datos del diámetro a la altura del pecho



Toma de datos del diámetro del árbol



Toma de datos del diámetro a la altura del pecho del árbol