



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA

INGENIERIA AMBIENTAL

DENOMINACIÓN DEL TÍTULO A OBTENER

INGENIERIA AMBIENTAL

TEMA

MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL PIGÜE
(*Pollalesta discolor*) MEDIANTE EXPERIMENTACION PARA LA
SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE DEL CANTÓN
MERA PROVINCIA DE PASTAZA

AUTORA

ALEXA JASMINA PAPUE KATAN

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN ELIAS GONZALEZ RIVERA MSc.

PUYO-ECUADOR

2017 - 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Alexa Jasmina Papue Katan, con cédula de identidad 1600635039, declaro que el presente proyecto de investigación sobre el tema “MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL PIGÜE (*Pollalesta discolor*), MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE DEL CANTÓN MERA PROVINCIA DE PASTAZA”, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, me responsabilizo en forma legal y académica como la autora del presente trabajo de grado y cedo los derechos de autor a la Universidad Estatal Amazónica para hacer uso en lo que estime conveniente siempre y cuando sea considerado para posibles investigaciones futuras o consultas basándose en los resultados obtenidos.

Alexa Jasmina Papue Katan

CI. 160063503-9

**CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

El Director de Tesis certifica que la egresada Alexa Jasmina Papue Katan, de la carrera de Ingeniería Ambiental ha realizado el Proyecto de Investigación y Desarrollo sobre el tema **“MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL PIGÜE (*Pollalesta discolor*) MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE DEL CANTÓN MERA PROVINCIA DE PASTAZA”**, previo a la obtención del título de ingeniería Ambiental.

Ing. Juan Elías González Rivera. Msc

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE

SUSTENTACION

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado “MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEL PIGÜE (*Pollalesta discolor*) MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE DEL CANTÓN MERA PROVINCIA DE PASTAZA”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dr. C. Dunia Chávez Esponda

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

MSc. Marlon Núñez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. Ivonne Jalca

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis Padres por el gran sacrificio y esfuerzo que han hecho desde el comienzo de mi existencia, quienes me han enseñado a no desfallecer ante las adversidades de la vida, y por obsequiarme la mejor de las herencias que un hijo puede recibir, él de ofrecerme una carrera para mi futuro.

A mis hermanos, quienes en todo momento me han brindado siempre su apoyo, cariño y amor. De manera especial a mi Hermana Judy, quien se ha ocupado y ha cumplido el rol de madre para con mi hijo en los momentos que yo no pude estar por circunstancias de mi sacrificio día a día en el transcurso de mi carrera.

A mi familia, amigos, compañeros de clases, profesores y a todos aquellos que han estado acompañándome y apoyándome con sus palabras de aliento para seguir adelante y lograr cumplir mis metas anheladas.

A mi tutor Ing. Juan Elías Gonzáles al Ing. Víctor Gonzales por su esfuerzo, dedicación, conocimientos, paciencia y orientaciones las cuales han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo.

Alexa Jasmina Papue Katan

DEDICATORIA

Dedico de manera especial A mis padres Consuelo Katan y Antonio Papue, quienes me han brindado su apoyo incondicionalmente, con su paciencia y esfuerzo, han logrado formarme como la mujer que hoy en día soy.

A mis hermanos Judy, Renny y Kelly, quienes han sido mis cómplices, y unos excelentes tíos para con mi hijo, gracias por todo su amor, paciencia y generosidad, este logro lo comparto con ustedes.

A mi amado hijo Ian Alejandro quien desde el primer momento que te tuve en mis brazos, supe que serias mi gran motivación para cada día superarme y así brindarte lo mejor.

Alexa Jasmina Papue Katan

RESUMEN

En la provincia de Pastaza, el deficiente estudio sobre el crecimiento inicial del Pigüe, hace que tome importancia, a considerarlo para este proyecto de investigación. Tenga como objetivo desarrollar la proyección de los modelos matemáticos del crecimiento del Pigüe (*Pollalesta discolor*), en un área comprendida de 2 ha de una finca del cantón Mera, se tomaron 100 muestras de Pigüe al azar. Según estudios experimentales del trabajo de campo, se hizo el uso de modelos matemáticos para explicar el desarrollo del crecimiento del Pigüe en función del tiempo. En el año 1 en la parcela 3 se presentó el mayor diámetro promedio de 3,50 cm y la parcela 1 presenta el menor diámetro de 0,47 cm esto se debió a que la distancia de parcela a parcela fue 30 m, debido a las condiciones geomorfológicas del suelo, mientras que la parcela 1, en altura presenta el mayor valor de 2,76 m de altura y las parcelas que tienen la menor altura son la 2 y la 4 con 2,43 m, esto fue debido a la alta densidad poblacional que existe en la parcela. En la proyección de los modelos matemáticos las parcelas 1, 3 y 4 presentaran mayor crecimiento en altura pero no en diámetro. Los datos obtenidos permitieron realizar los modelación matemática y su proyección del crecimiento en diámetro del Pigüe (*Pollalesta discolor*) siendo una madera totalmente aprovechable a los 30 cm para los distintos usos, por cuanto a los 6 años obtendrá 30 cm y hasta los 10 años 35 cm desde un punto de vista ecológico esto garantizara la sostenibilidad de la especie y sustentabilidad del ecosistema.

PALABRAS CLAVES: Pigüe, Modelos matemáticos, Sostenibilidad

SUMMARY

In the province of Pastaza, the poor study on the initial growth of the Pigüe, makes it important to consider it for this research project. Aim to develop the projection of the mathematical models of the growth of the Pigüe (*Pollalesta discolor*), in an area of 2 ha of a farm in the canton Mera, 100 samples of Pigüe were taken at random. According to experimental studies of field work, mathematical models were used to explain the speed of Pigüe growth as a function of time. In year 1 in plot 3 the largest average diameter of 3.50 cm was presented and plot 1 has the smallest diameter of 0.47 cm, this was due to the fact that the distance from plot to plot was 30 m, due to the geomorphological conditions of the soil, while plot 1, in height presents the highest value of 2.76 m in height and the plots that have the lowest height are 2 and 4 with 2.43 m, this was due to the high population density that exists in the plot. The projection of the mathematical models in plots 1, 3 and 4 will present greater growth in height but not in diameter. he obtained data allowed us to perform the mathematical modeling and its projection of the diameter growth of the Pigüe (*Pollalesta discolor*) being a fully usable wood at 30 cm for different uses, for at 6 years it will obtain 30 cm and up to 10 years 35 cm from an ecological point of view this will guarantee the sustainability of the species and sustainability of the ecosystem.

KEY WORDS: Pigüe, Mathematical models, Sustainability

Tabla de contenido

CAPÍTULO I	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.5 OBJETIVOS	14
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CAPÍTULO II	15
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.1.2 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	15
2.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PIGÜE	15
2.1.3.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	15
2.1.4 EXPLOTACIÓN DEL PIGÜE	16
2.1.5 USOS DEL PIGÜE	16
2.1.6 CRECIMIENTO	17
2.1.6.1 CRECIMIENTO INDIVIDUAL	17
2.1.3 MODELOS MATEMÁTICOS	18
2.1.4 SOSTENIBILIDAD	18
CAPÍTULO III	20
3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.1.1 LOCALIZACIÓN	20
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
3.2.1 TIPO	21
3.2.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	21

3.2.3 ALCANCE	21
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.4 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	24
3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.	24
3.5.1 RECURSOS HUMANOS	24
3.5.2MATERIALES	24
CAPITULO IV	26
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
CAPITULO V	28
5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
5.1.1 CONCLUSIONES	36
5.1.2 RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	41

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución natural del Pigüe en la región amazónica centro-Sudamérica.	16
Gráfico 2. Curva de crecimiento individual	17
Gráfico 3. Modelos matemáticos de crecimiento	18
Gráfico 4. Ubicación donde se realizó el levantamiento de datos de campo.	20
Gráfico 5. Curva de crecimiento en función del tiempo parcela 1	29
Gráfico 6. Curva de crecimiento en función del tiempo parcela 2	29
Gráfico 7. Curva de crecimiento en función del tiempo parcela 3	30
Gráfico 8. Curva de crecimiento en función del tiempo parcela 4	30
Gráfico 9. Curva de crecimiento en altura en función del tiempo parcela 1	31
Gráfico 10. Curva de crecimiento relación altura en función del tiempo parcela 2	31
Gráfico 11. Curva de crecimiento de la parcela 3 relación altura en función del tiempo.	32
Gráfico 12. Curva de crecimiento de la parcela 4 relación altura en función del tiempo.	32
Gráfico 13. Relación diámetro/altura en función del tiempo parcela 1.	34
Gráfico 14. Relación diámetro/altura en función del tiempo parcela 2.	34
Gráfico 15. Relación diámetro/altura en función del tiempo parcela 3.	35
Gráfico 16. Relación diámetro/altura en función del tiempo parcela 4.	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica del pigüe	15
Tabla 2. Ubicación Geográfica	20
Tabla 3. Tamaño de la muestra de estudio	22
Tabla 4. Resumen estadístico de la base Inicial del inventario del muestreo de árboles en la provincia de Pastaza	27
Tabla 5. Tasa de crecimiento pigüe en %.	27
Tabla 6. crecimiento altura a los 16 meses de edad.	28

INDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1. densidad poblacional de Newton	23
Ecuación 2. Diámetro de crecimiento.....	23
Ecuación 3. altura de crecimiento.....	23

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Equipo de trabajo de campo.....	41
Anexo 2. Criterios de diámetros y altura del pigue	44
Anexo 3. Cálculo para la proyección del crecimiento de diámetro y altura.....	48

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La Amazonía, constituye la mayor formación boscosa del mundo actual, y su biodiversidad la sitúa como la más rica en recursos genéticos y energéticos (Lopez, 2009). El Pigüe (*Pollalesta discolor*) es una especie nativa de la Amazonia ecuatoriana y América Central, caracterizada por ser una madera blanda y de rapido crecimiento, se utilizada para distintos fines en la Amazonia Ecuatoriana (Erazo, 2014).

La principal especie del bosque secundario en la Amazonía Ecuatoriana es el Pigüe (Hetsch, 2004). Se han realizado estudios botánicos sobre las especies que pueblan esta región ecuatoriana, han logrado identificar que el consumo de la madera de los bosques primarios comprende el 53,81% del total, y de bosques secundarios con un 46,19%, hay investigaciones en otras provincias de la Amazonía del Ecuador con otras características de tratamientos, como emerge la especie para darle un manejo tecnológico.

El Pigüe, tiene alto contenido de semillas por kilogramo 3571428 a 3731343 (Vallejo, 1982), en su fase inicial el Pigüe presenta el 95% en promedio de germinación (Aguirre, 2009) y la sobrevivencia del Pigüe (*Pollalesta Discolor*) trasplantadas muestran que la especie sobrevive el 95,8%, a los 2.5 años y en la tabla 6, indican la altura de crecimiento de 3,21 m, y del diámetro de 7,2 cm, del árbol demostrada en la investigación desarrollada en la Provincia de Morona Santiago (Davidson, 1997).

Los modelos matemáticos son los más usados para relacionar cuantitativamente variables de rodal o arboles individuales, constituidos por variables y relaciones funcionales, esto es se obtiene en función del tiempo, incluye todas las variables que pueden ser usadas como indicadores de la densidad de rodal (área basal y número de árboles por unidad de superficie) (Cancino, 2012).

En la actualidad en Pastaza no existen estudios sobre el crecimiento inicial del Pigüe, por esta razón en la presente investigación se tiene la necesidad de evaluar y demostrar con modelos matemáticos dicho comportamiento fisiológico vegetal, estos modelos servirán para realizar proyecciones, comparar y validar con otros estudios en zonas de bosques de la provincia de Pastaza en la Amazonia Ecuatoriana.

1.2 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

¿Se necesita conocer los modelos matemáticos de crecimiento del Pigüe (*Pallalesta discolor*) a través de los estudios de la fase inicial de su desarrollo, que permita la determinación de la proyección de los modelos matemáticos con características sostenibles?

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente no se cuenta con estudios de modelos matemáticos del crecimiento del Pigüe, lo que limita conocer datos de su velocidad de desarrollo para su aprovechamiento como fuente de energía en la provincia de Pastaza.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Los modelos matemáticos desarrollados del crecimiento del Pigüe (*pollalesta discolor*), permitirán dar pautas para el desarrollo sostenible de su aprovechamiento como fuente de biomasa renovable en Pastaza.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar la proyección de los modelos matemáticos del crecimiento del Pigüe (*pollalesta discolor*).

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar las mediciones dasométricas del crecimiento de la especie *Pollalesta discolor* (Pigüe), en las parcelas experimentales ubicadas en el cantón Mera
- b. Determinar densidad poblacional en las parcelas experimentales para la valoración de la tasa de crecimiento y raleo mediante la aplicación de los modelos matemáticos.
- c. Proyectar los modelos matemáticos del crecimiento inicial para la sostenibilidad del Pigüe.

CAPÍTULO II

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.2 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

TABLA 1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL PIGÜE

REINO	Plantae
DIVISION	MAGNOLIOPHYTA
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Asterales
FAMILIA	Asteraceae
GENERO	Pollalesta
ESPECIE	<i>discolor</i>

El Pigüe pertenece a la familia *Asteraceae*, son plantas herbáceas o perennes, considerada una especie pionera, que se regenera de forma natural en los claros del bosque. Es un árbol de madera blanda y crecimiento rápido con una altura máxima de 30 m; el diámetro del tronco es de aproximadamente 60 cm con forma cilíndrica y presenta ramificaciones por encima del tercio inferior. Crecen en suelos limosos y arcillosos de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica. (Merino J. , 2010, pág. 34).

La dispersión de semillas es realizada por las escamas florales típicas de la familia *Asteraceae*, su abundancia natural existe en los sistemas de rotación de cultivos, como también en superficies mono dominantes de bosques secundarios (Erazo, *et.al.*, 2014).

2.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PIGÜE

2.1.3.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra distribuido en toda la región amazónica véase (Grafico 1); formando extensos bosques secundarios. El Pigüe está comprendida en un radio de 25 a 30 Km de la provincia de Pastaza misma que se encuentra desde los 500 hasta los 1500 m.s.n.m y a temperatura media de 20 °C (Merino J. , 2010).

GRÁFICO 1. DISTRIBUCIÓN NATURAL DEL PIGÜE EN LA REGIÓN AMAZÓNICA CENTRO-SUDAMÉRICA.



Fuente: Cárdenas, 2016.

2.1.4 EXPLOTACIÓN DEL PIGÜE

A nivel nacional, entre enero del 2007 a diciembre del 2009, el Ministerio del Ambiente del Ecuador autorizó el aprovechamiento de 92 millones de m³ de madera en pie y la superficie intervenida se incrementó, pasando las 85.553 hectáreas en el 2009. (Aisalla, 2012). Su aprovechamiento se localiza principalmente en las provincias de Pastaza, Morona Santiago, Napo y Zamora Chinchipe; y para la realización de la explotación es mediante la emisión de formularios (11043) del MAE, que son parte de programas (83) a nivel nacional representando el 31,18% del volumen de la producción maderable de Pigüe (*Pollalesta discolor*) (Tene *et.al*, 2011p.7). Hasta ahora la madera está siendo explotada y no cuenta con modelos matemáticos de crecimiento para su sostenibilidad y control. Tal como se evidencia la deforestación está avanzando y más que eso también la degradación de los bosques. (Hetsch, 2004).

2.1.5 USOS DEL PIGÜE

En la zona rural de la Amazonía, la población local produce y comercializa muchos tipos de madera destinados de manera general, para la construcción, encofrados, Armazones de madera, embalajes (cajas), pero no para el uso de carpintería. El uso de estas maderas no convencionales permite a las personas con bajos recursos crear ingresos mediante productos madereros de esta manera contribuir a mejorar sus estilos de vida (CIFOR, 2014) y como

biomasa forestal, se puede convertir en energía y mantener su sostenibilidad debido a su emergimiento y producción natural (Madrid, 2012, pág. 9).

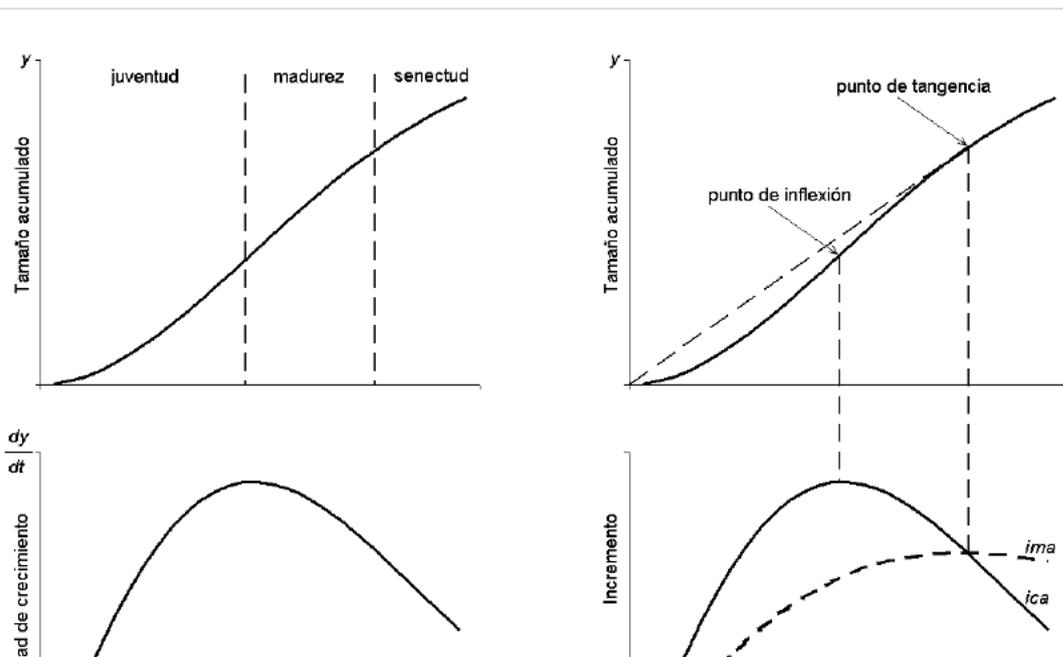
2.1.6 CRECIMIENTO

El termino crecimiento relativo a cálculos forestales, se utiliza imparcialmente para marcar el engrandecimiento de tamaño ya sea a nivel de árbol individual o a nivel de rodal, ocurrido en alguna variable durante un terminante lapso de tiempo, se refiere como crecimiento acumulado (Cancino, 2012, p.121).

2.1.6.1 CRECIMIENTO INDIVIDUAL

Consiste en la elongación y engrosamiento de donde se evaluó la altura total y diámetro del tronco. La determinación del crecimiento ejecuto estableciendo las parcelas de muestreo temporales según convenga el estudio. Al momento de graficar las mediciones dasométricas como altura, diámetro, área basal de un árbol en función al tiempo, se obtiene una curva de crecimiento véase (**Gráfico 2**) (Cancino, 2012, p.122).

GRÁFICO 2. CURVA DE CRECIMIENTO INDIVIDUAL



Fuente: Cancino (2012)

2.1.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos matemáticos son compuestos por variables y relaciones funcionales. Entre las primeras están las variables de estado, que determinan a elementos en un punto del tiempo, e.g. el área basal (m²/ha), el número de árboles (n/ha) y la altura promedio. A partir del estado natural de las mediciones dasométricas se consigue conocer el estado en cualquier sitio futuro y este cambio es único. Indivisible el sistema depende del estado inicial; específico este se conocen todos los estados posteriores del sistema en el tiempo (Cancino, 2012, p. 42-43).

Existe una vasta gama de modelos matemáticos que pueden ser manejados para ajustar a datos de crecimiento (**Gráfico 3**). Requieren como punto de inicio un valor aproximado de los parámetros a estimar el más fácil comprensible es la asíntota, esto es el valor al cual debiera tender la variable dependiente cuando la edad del individuo tiende a infinito. Ese valor puede aproximarse con facilidad al graficar la variable de interés en función de la edad (Cancino, 2012, p.131).

GRÁFICO 3. MODELOS MATEMÁTICOS DE CRECIMIENTO

Denominación	Modelo	Primera derivada $y' = dy/dt$
Logístico	$y = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}$	$y' = \frac{kbae^{-at}}{(1 + b \cdot e^{-at})^2}$
Gompertz	$y = k \cdot b^{-a \cdot e^{-t}}$	$y' = kcb^{-cb^{-t}} (\ln b)^2 b^{-t}$
Weibull	$y = k(1 - e^{-at^b})$	$y' = kabt^{b-1} e^{-at^b}$
Richards	$y = k(1 - be^{-at})^n$	$y' = kanbe^{-at}(1 - b \cdot e^{-at})^{n-1}$

Fuente: Cancino, 2012

2.1.4 SOSTENIBILIDAD

El manejo de los recursos forestales sustentables en el siglo 21, es en un principio que asegura la producción de diversos bienes y servicios a partir de los ecosistemas forestales de una manera perpetua y óptima. El reto del manejo forestal sustentable es la gestión y utilización de los bosques con capacidad de regeneración en el presente y en el futuro de las funciones ecológicas, económicas y sociales pertinentes, son los nuevos paradigmas para el

desarrollo forestal y sustentable, según las capacidades de ejecución, monitoreo y manejo forestal (Aguirre O. , 2015)

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles. Según el Artículo 27 de la Constitución Política de Estados Unidos Mexicanos, son de orden de interés público fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable (Camara de Diputados del H, 2015).

La estrategia sostenible del programa de restauración forestal consideran que el ambiente y los recursos naturales son el patrimonio natural como la base del desarrollo de Ecuador, es necesario impulsar los procesos de comprender la importancia económica y social de los ecosistemas naturales (MAE, 2014), ahí nuestro interés de conocer los modelos crecimiento de la especie del Pigüe, que permitan contar con modelos matemáticos para la sostenibilidad y sustentabilidad del ecosistema.

CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en la parroquia Mera perteneciente al cantón Mera, provincia de Pastaza con un área comprendida de 2 ha, (**Grafico 4**).

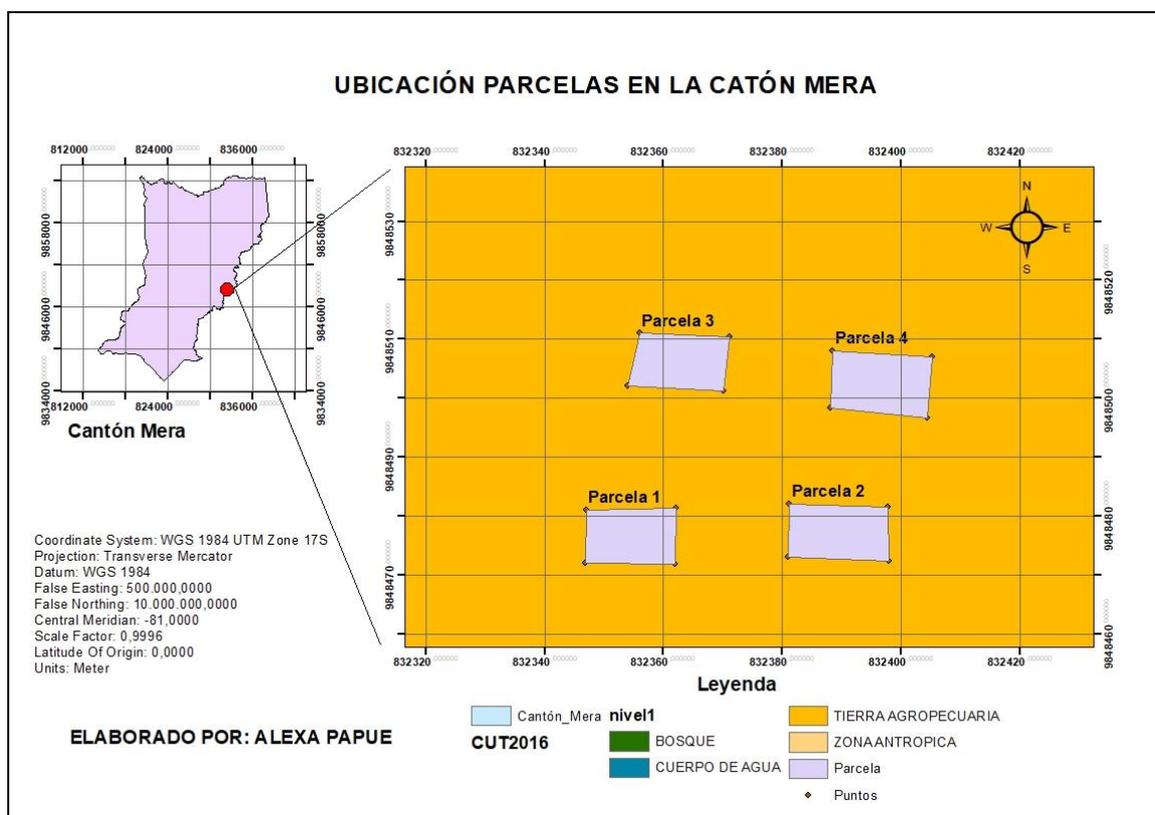


GRÁFICO 4. UBICACIÓN DONDE SE REALIZÓ EL LEVANTAMIENTO DE DATOS DE CAMPO.

TABLA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA¹

Descripción	Coordenadas		Altitud
	X	Y	
Parcela 1	832353	9848464	952 m
Parcela 2	832402	9848473	
Parcela 3	832354	9848502	
Parcela 4	832431	9848461	

¹ Datos levantados directamente con GPS 2018 (WGS 84)

Características climáticas

Superficie	345 km ²
Temperatura	20°C
Precipitación promedio anual	4222.7mm
Altitud	1110 msnm
Humedad relativa	80% y 90%.

Fuente GADMM (2015)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 TIPO

La investigación es de tipo cuantitativa, tanto con variables medidas directamente o dasométricas. Las técnicas estadísticas de análisis de datos permitieron operacionalizar las variables numéricas

3.2.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación fue empírico-analítico, por cuanto se partió de una hipótesis alterna que fue contrastada a través de la medición experimental y modelación teórica matemática.

3.2.3 ALCANCE

El alcance del estudio fue correlacional, lo que permitió desarrollar la modelación matemática usando variables operativas del sitio de estudio a partir de las mediciones dasométricas.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo estuvo basado en un diseño experimental sistematizado. El tamaño de las muestras se realizó de acuerdo con el principio de (Akca, 1993) .Las intensidad del muestreo, fueron de 4 parcelas, con un área comprendido de 200 m² (Spitler, 1995) mencionado en (Camacho & Murillo, 1997) se tomaron veinte y cinco muestras al azar de cada una de las 4 parcelas de la finca experimental, dándonos un total de 100 muestras,

inmediatamente se tomaron los datos según los objetivos planteados, se midieron las variables cuantitativas: longitud y diámetro del tronco de la especie *Pigue pollalesta discolor* (Tabla 3.)

TABLA 3. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

Área del inventario con GPS	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
de 25.000 m2 en la provincia de Pastaza	25	25	25	25
No. Pigües extraídos de raíz fueron 100				

Procedimiento para la obtención de las medidas dasométricas

Para la obtención de las medidas dasométricas se utilizó una cinta métrica y se aplicó el conocimiento empírico ver (Foto 1, 2 y 3). El inventario se realizó para este propósito, donde se tomó en cuenta, la intensidad de muestreo y la relación de la superficie de la muestra (Romahn Carlos F, 1973).



Foto1 Instalación de las parcelas Foto 2 Extracción desde la raíz Foto 3 Medición de longitud del pigüe.

C) CÁLCULO PARA LA MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA DE CRECIMIENTO SOSTENIBLE.

Se realizó este modelo matemático, basado en las experiencias de otras investigaciones de la especie y la recogida de datos probatorios, en el campo para el aseguramiento de la sostenibilidad en lo referente a:

En base a la de Ecuación de crecimiento poblacional de Newton, se modeló el crecimiento del árbol por la variación del diámetro en el tiempo, el ensayo en campo y las experiencias campesinas:

$$I_s = \left(\frac{V_f - V_i}{n * V_f} \right)$$

$$I_s = \left(\frac{1}{n} \right) \left(1 - \frac{V_i}{V_f} \right) * 100$$

ECUACIÓN 1. DENSIDAD POBLACIONAL DE NEWTON

$$V = V_0 e^{-kt}$$

e= 2,718 constante

-k = tasa

t= Tiempo

Modificando la ecuación anterior permitió realizar el cálculo del diámetro de crecimiento de la especie ver (**Anexo 3**) logrando obtener la siguiente fórmula matemática para este fin:

ECUACIÓN 2. DIÁMETRO DE CRECIMIENTO

$$D = D_0 e^{-kt}$$

Dónde:

D = diámetro final

D₀ = diámetro inicial (diámetro inferior base y superior final)

e= 2,718 constante

-k = tasa de crecimiento

t= Tiempo en años /grosor del árbol

De la misma manera se calculó, la variación de la altura del árbol en el tiempo de crecimiento ver (**Anexo 3**), considerando el diámetro del árbol y su proyección similar al desarrollo:

ECUACIÓN 3. ALTURA DE CRECIMIENTO

$$H_f = H_0 e^{-kt}$$

Donde:

H_f = altura de la planta

H_o = altura inicial de la planta

$e = 2,718$

- k = tasa de crecimiento

t = Tiempo en años para el crecimiento y cosecha.

3.4 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos obtenidos fueron tabulados y pre procesados en una hoja Excel. Usando esta herramienta se registraron las variables dasométricas o medidas directamente, en las parcelas experimentales en el campo, posteriormente se calcularon las variables usando el tabulador y graficador. Posteriormente las variables fueron procesadas estadísticamente usando el software de procesamiento estadístico Statgraphics Centurion v. 15.2.14. Donde se logró correr los datos en el programa estadístico antes mencionado para contrastar la hipótesis.

3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.

3.5.1 RECURSOS HUMANOS

Ing. Juan Elías González, MSc, ejecutor del proyecto y docente de la UEA

Ing. Víctor Hugo González

Estudiantes de quinto semestres que realizan vinculación en el proyecto de investigación

3.5.2 MATERIALES

-Cinta métrica

-Computadora

-Statgraphics

-GPS

-Internet

Centurion v. 15.2.

-Cámara fotográfica

-Libreta, Esfero

-Calculadora

-Transporte

CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES DASOMÉTRICAS DEL CRECIMIENTO DE LA ESPECIE DEL PIGÜE, EN LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.

Se realizaron mediciones de las 100 muestras, posteriormente, a través de las mediciones fueron inventariadas las 100 muestras experimentales, lo que permitió obtener la información de las variables dasométricas ver (**Anexo 2**). Del análisis descriptivo: La parcela uno, respecto a la variable “diámetro inferior “, oscila entre los valores de un mínimo de 0,79 cm; máximo 1,91 cm con una variación estándar de 0,31 cm; la variable “diámetro Superior “ oscilan con un mínimo 0,63 cm, máximo 1,01911cm y con una altura total media de 189 cm. La parcela 2 oscila entre los valores de un mínimo 0,63 cm un máximo 4,14 cm “diámetro Superior “mínimo 0,31 cm, máximo 2,86 cm y con una altura total media de 1,74 m. La parcela 3 oscila entre los valores de un mínimo 0,63 cm, máximo 2,54 cm y una; “diámetro Superior “con un mínimo de 0,63 cm y un máximo de 2,54 cm y con una altura total media de 178 cm. La parcela 4 oscila entre los valores de un mínimo 0,796 cm, máximo 3,02 “diámetro Superior “con un mínimo de 0,637 cm y un máximo de 1,91 y con una altura total media de 1,53 m. Lo que podemos decir al respecto que existen arboles con una altura muy significativa, de acuerdo a las condiciones climáticas temperatura 20°C), (INAMHI, 2015). En forma general el promedio de variables logro establecer un solo diámetro de acuerdo a su crecimiento tal como se muestran las variables de “diámetro” y “altura” donde se logró observar que la variable “diámetro” con respecto a las cuatro parcelas tiene una Media que oscila de 1,75 cm, un mínimo de 0,47 cm y un máximo de 3,50 cm. De igual manera la variable “Altura” de las cuatro parcelas tiene una media de 1,74 cm; Mínimo de 0,69 m y un Máximo de 2,76 m.

Detalle		Diámetro(cm)			Altura(m)		
Categoría	No. Muestras	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Parcela 1	25	0,74	0,71	1,46	1,89	0,87	2,76
Parcela 2	25	3,02	0,47	3,50	1,74	0,69	2,43
Parcela 3	25	2,13	0,47	2,61	1,78	0,97	2,75
Parcela 4	25	1,75	0,71	2,46	1,53	0,90	2,43

TABLA 4. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA BASE INICIAL DEL INVENTARIO DEL MUESTREO DEL PIGÜE EN LA PROVINCIA DE PASTAZA

Elaborado por Alexa Papue

4.1.2. VALORACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO Y RALEO

Se trabajó con la tasa del 14 % para obtener tasa de crecimiento de acuerdo a las recomendaciones de pobladores del sector maderero. Además, siendo que en el primer año crecerá al 100% de ahí desde el segundo año en adelante decrecerá de forma asintótico ya que no crecerá más, esto concuerda con (Imaña & Encinas, 2008) donde la tasa específica de crecimiento declina más y más lentamente a medida que la especie vegetal Pigüe aumenta en edad. En base a conceptos establecidos por (Cancino, 2012) ver (tabla 5)

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasa %	0,14	1	0,5	0,125	0,063	0,0313	0,015625	0,009375	0,005625	0,003375	0,00203

TABLA 5. TASA DE CRECIMIENTO PIGÜE EN %.

4.1.3 PROYECCIÓN MODELACIÓN MATEMÁTICO DEL SISTEMA DE CRECIMIENTO

Se puede observar en las imágenes la forma de crecimiento con la edad de 12 meses (**foto 1**) y una vez tomado los puntos a los 16 meses se observaron cómo fue el crecimiento rápido del Pigüe, por esta razón se consideró los porcentajes recomendados en los modelos matemáticos (**Tabla 6**).

FOTO 1 ALTURA A LOS 12 MESES Y 16 MESES



12 Meses altura inicial de 16 a 18 cm



16 meses altura de 2,76m

TABLA 6. CRECIMIENTO ALTURA A LOS 16 MESES DE EDAD.

Altura(m) Mínima	Meses	Altura (m) Máximo
16	1	18
32	2	36
48	3	54
64	4	72
80	5	90
96	6	1,08
1,12	7	1,26
1,28	8	1,44
1,44	9	1,62
1,60	10	1,80
1,76	11	1,98
1,92	12	2,16
2,08	13	2,34
2,24	14	2,52
2,40	15	2,70
2,56	16	2,88

En esta tabla con relación a la parcela 1 (**tabla 4**) se pudo observar que el crecimiento de altura a los 16 meses de 2,76 m, por tanto podemos confirmar que desde el año cero hasta los 16 meses han crecido 16 cm en el tiempo indicado en la (**tabla 6**).

Curvas de crecimiento en diámetro y altura

Aplicando calculos matematicos (**Anexo 3**) se proyecto las curvas de crecimiento en diámetro y altura . El crecimiento en diametro del pigue en todas las parcelas describieron una gráfica polinómica de grado dos con un coeficiente de determinacion (R^2) entre 0,997 la parcela 1 y 0,993 en la parcela 2,3 y 4 queda demostrado que crecimiento del pigue tiene un comportamiento no lineal (**Gráfico 5, 6, 7 y 8**)

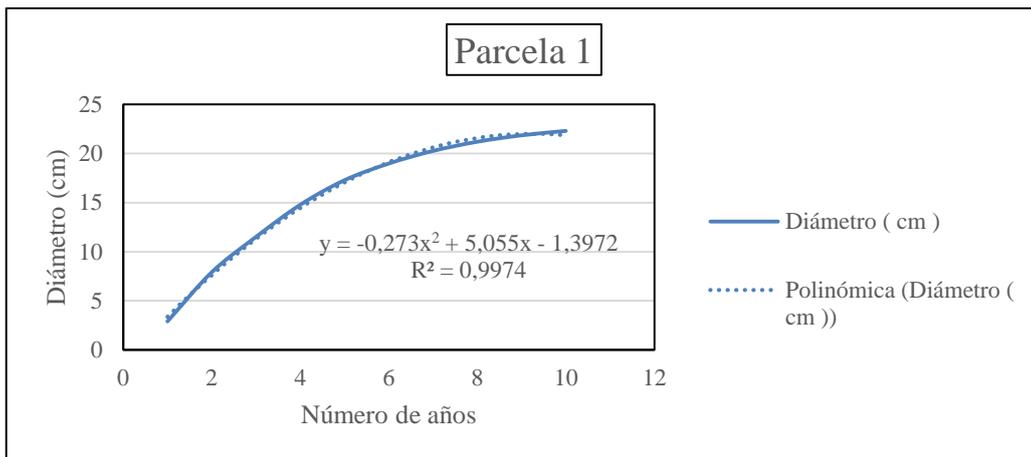


GRÁFICO 5. CURVA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 1

Elaborado por :Alexa Papue

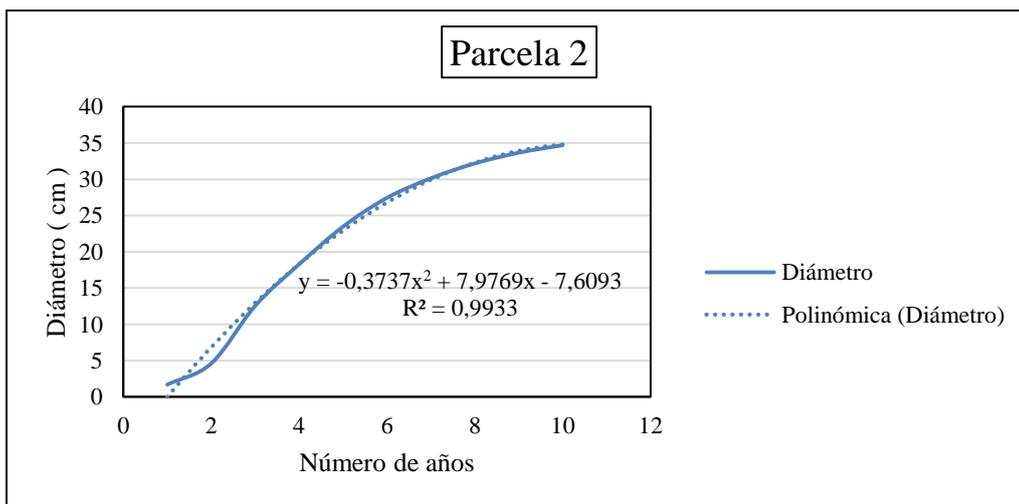


GRÁFICO 6 CURVA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 2

Elaborado por :Alexa Papue

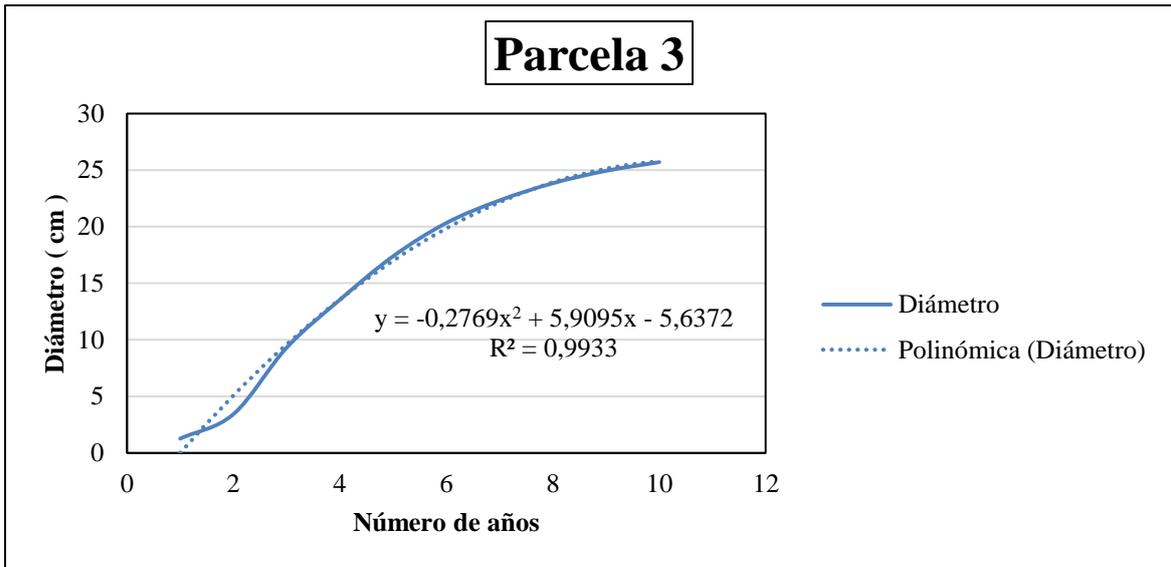


GRÁFICO 7 CURVA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 3

Elaborado por : Alexa Papue

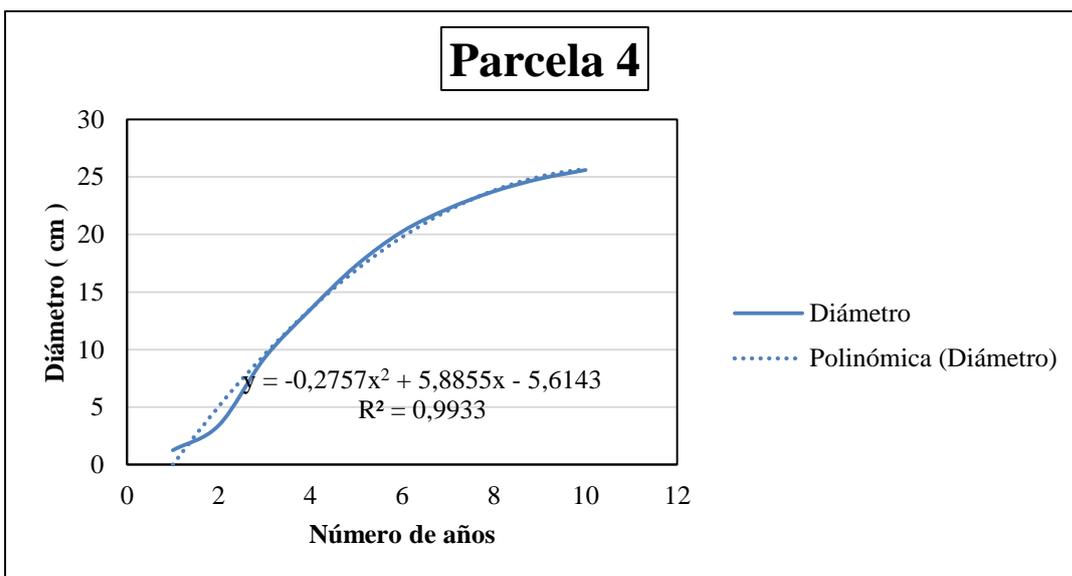


GRÁFICO 8 CURVA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 4

Elaborado por: Alexa Papue

Las curvas de crecimiento en altura del pigue

En todas las parcelas describieron una gráfica polinómica de grado dos con un coeficiente de determinación (R^2) entre 0,993 la parcela 1 2, 3 y 4 demuestra que la velocidad de crecimiento del pigue tiene un comportamiento no lineal (**Gráfico 9,10,11 y 12**).

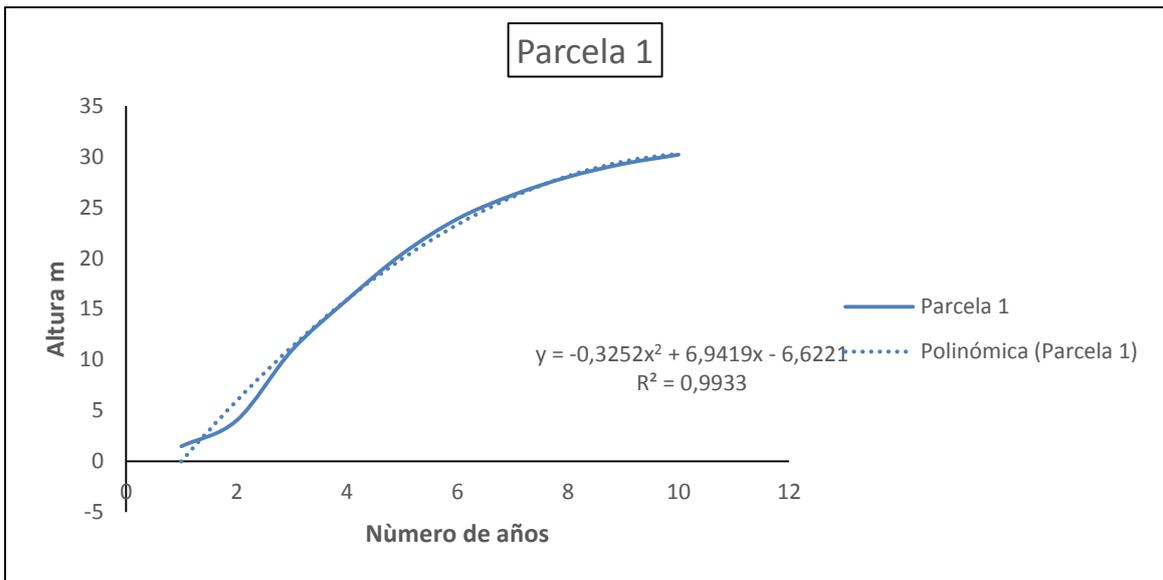


GRÁFICO 9 CURVA DE CRECIMIENTO EN ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 1

Elaborado por: Alexa Papue

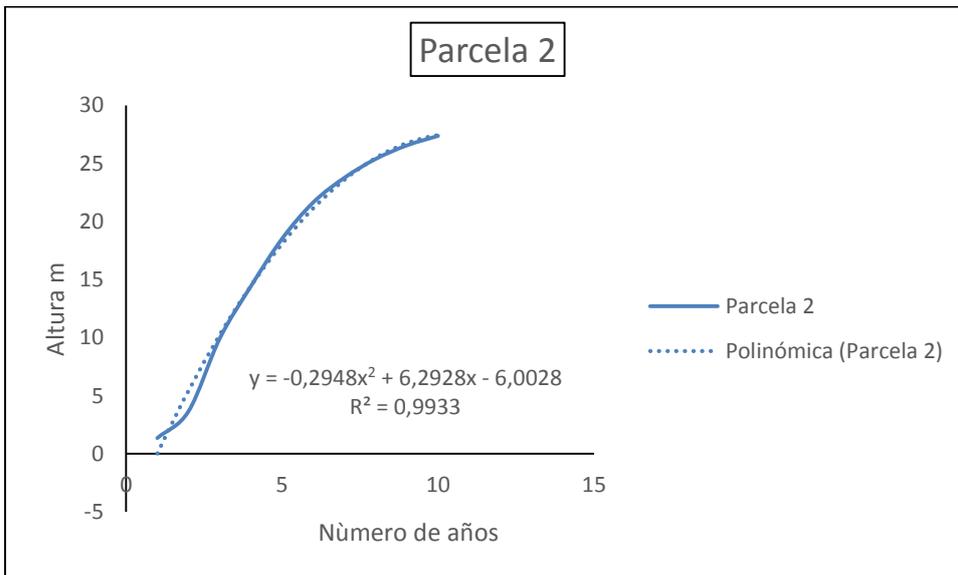


GRÁFICO 10 CURVA DE CRECIMIENTO RELACIÓN ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 2

Elaborado por: Alexa Papue

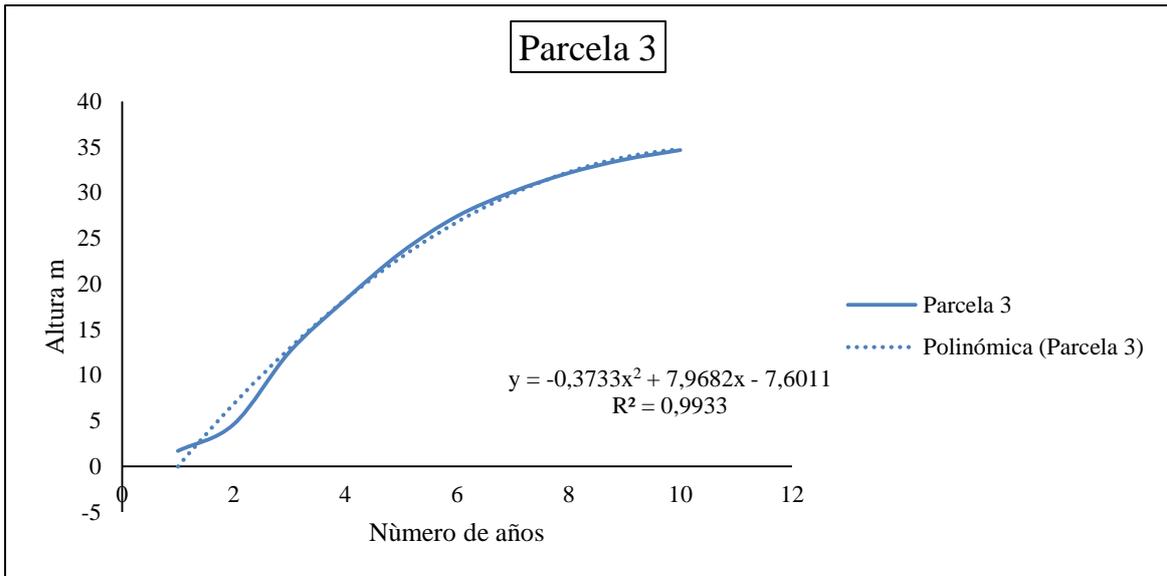


GRÁFICO 11. CURVA DE CRECIMIENTO DE LA PARCELA 3 RELACIÓN ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Elaborado por: Alexa Papue

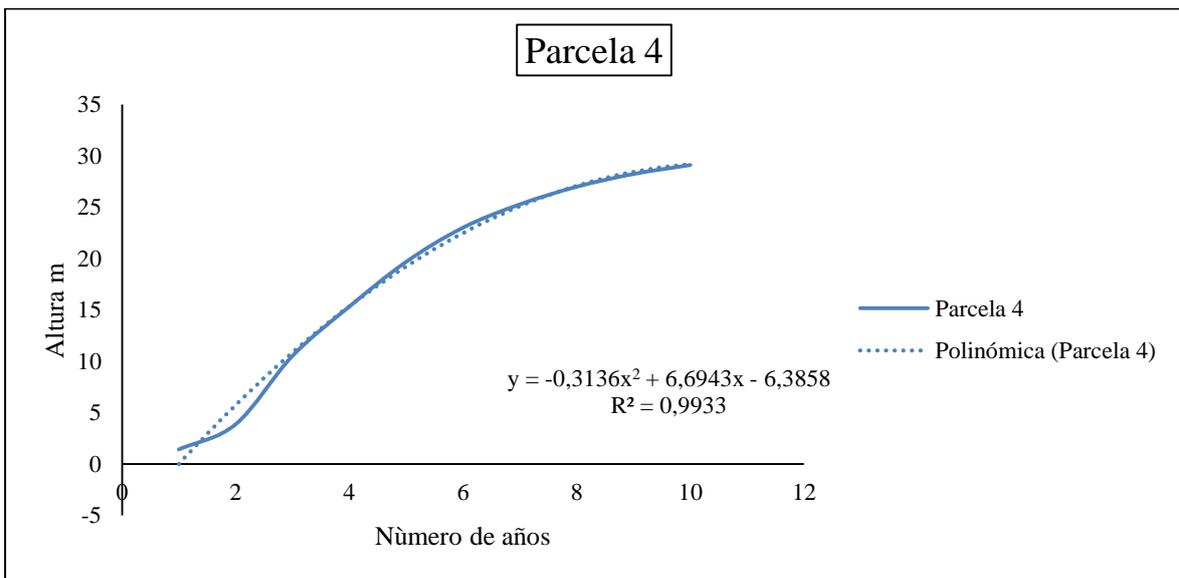


GRÁFICO 12. CURVA DE CRECIMIENTO DE LA PARCELA 4 RELACIÓN ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Elaborado por: Alexa Papue

Dinámica de crecimiento del Pigüe relación diámetro-altura en función del tiempo

La población rural recomiendan que el Pigüe (*Pollalesta discolor*) debe ser cortado al tercer año con diámetros superiores a los 15 cm debido a que constituye una fuente importante de ingresos que sirve para complementar las ganancias de los hogares rurales, durante los períodos de necesidad económica sin embargo no se dan cuenta que podrían aprovecharlo de manera sostenible esperando unos años más cuando su madera sea mas resistente lo que Rojas y Torres citado en Merino, 2010, p.36 mencionan que la madera de esta especie con diámetros superiores a los 30 cm, su madera es aprovechable para los distintos usos que deseen darse debido a que ofrecen una resistencia relativamente alta por cuanto en la parcela 2 al sexto año alcanzaría el diámetro de 30 cm como se puede observar en la (**Grafico 13, 14, 15 y 16**) Según el modelo matemático aplicado tal como lo menciona Newton. Mientras que (Rodriguez, 2009) menciona que el crecimiento en diámetro y altura existe la continua competencia entre árboles y produce un mayor crecimiento en altura, podemos decir que confirma que las parcelas 1, 3 y 4 presentarían mayor crecimiento en altura pero no en diámetro, lo cual es aceptable desde un punto de vista ecológico, porque esta condición da lugar a que se manifieste la selección natural donde los individuos más capaces y mejor adaptados tendrán un periodo de vida más largo y se reincorpore la biomasa al suelo como producto de los árboles que vayan muriendo, además de que estos sitios son favorables para el refugio y reproducción de la fauna silvestre. Comparando con otras especies pioneras (Hernández, Gagnon, & Davidson, 2015) tal como mencionan que la especie *Pollalesta discolor*, *Erythrina* sp y *Heliocarpus americanus*, identificaron como heliófilas efímeras, porque su ciclo de vida lo cumplen solamente en sitios abiertos y tienen una vida relativamente corta (10 - 15 años). Los sistemas de fotosíntesis de estas especies son muy eficaces en plena luz tal como lo menciona (Cancino, 2012) y como consecuencia de esta estrategia su madera es liviana, suave y de poca fuerza y resistencia, pero con una gran capacidad para producir materia orgánica que cubre rápidamente el suelo y de esta manera permitiendo su regeneración para la producción de la biomasa, lo cual hace que sea sostenible en su ecosistema forestal.

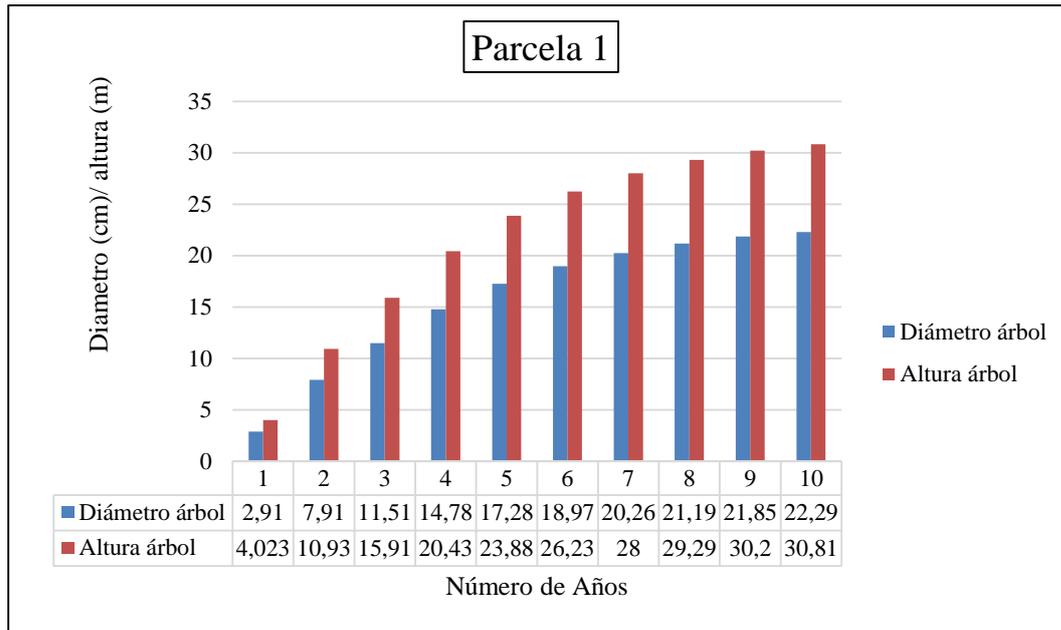


GRÁFICO 13. RELACIÓN DIÁMETRO/ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 1.

Elaborado por: Alexa Papue

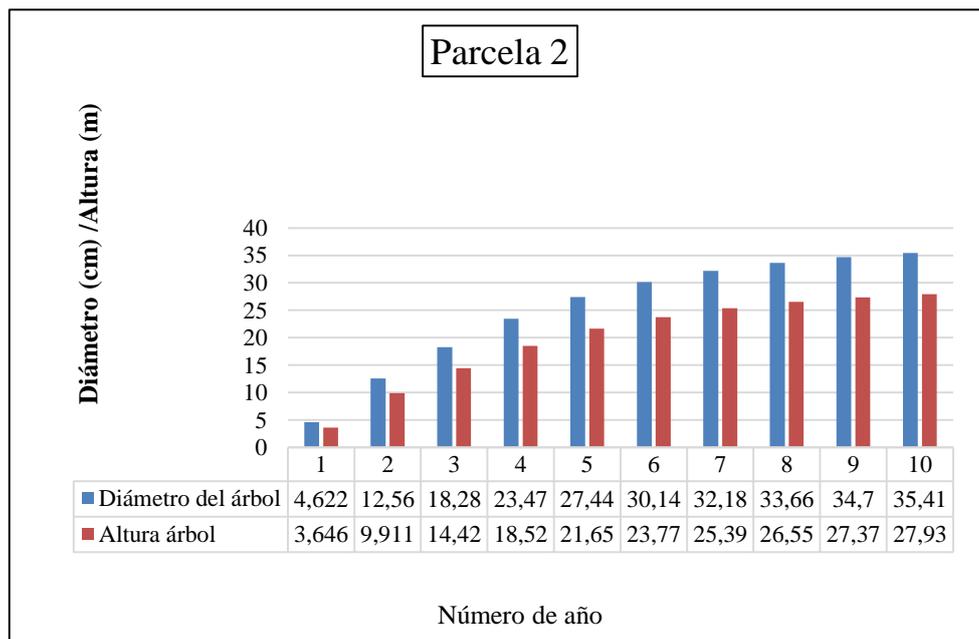


Gráfico 14. RELACIÓN DIÁMETRO/ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 2.

Elaborado por: Alexa Papue

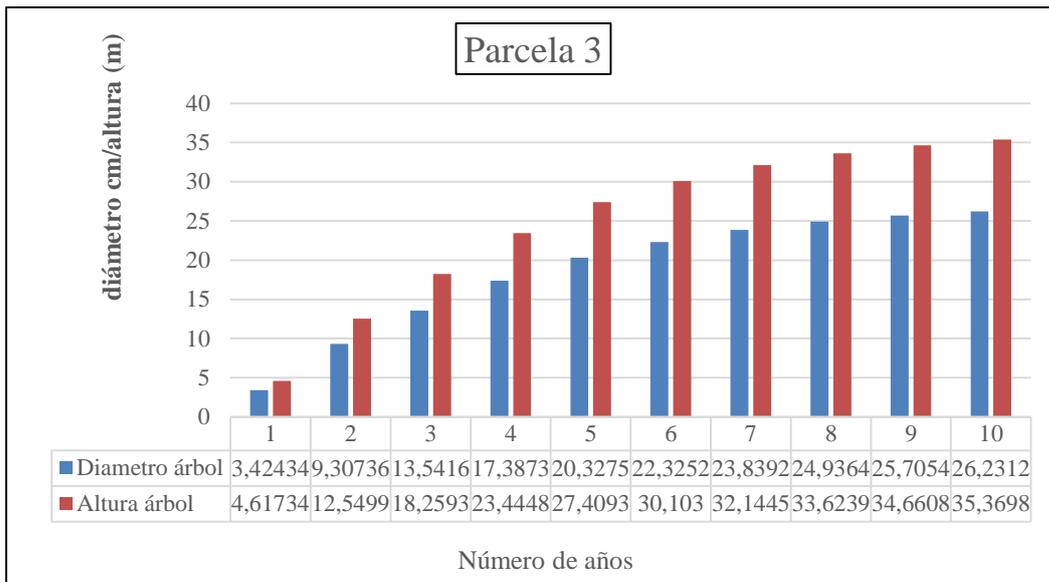


GRÁFICO 15. RELACIÓN DIÁMETRO/ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 3.

Elaborado por: Alexa Papue

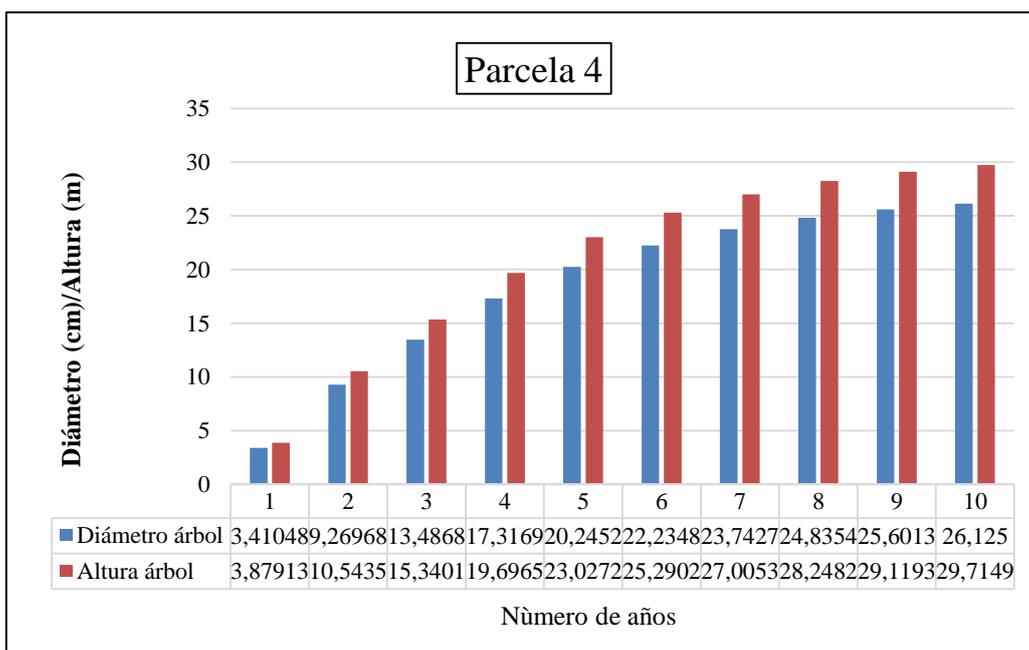


Gráfico 16. RELACIÓN DIÁMETRO/ALTURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARCELA 4.

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 CONCLUSIONES

Se hizo el uso de modelos matemáticos para explicar el desarrollo del crecimiento inicial del Pigüe en función del tiempo. En el año 1 la parcela 3 presento el mayor diámetro promedio de 3,50 cm y la parcela 1 presenta el menor diámetro de 0,47 cm esto se debió a que la distancia de parcela a parcela fue 30 m, debido a las condiciones geomorfológicas del suelo(pendiente, relieve, tipo de suelo etc). Mientras que la parcela 1 en altura presenta el mayor valor de 2,76 m y las parcelas que tienen la menor altura son la 2 y la 4 con 2,43 m, esto fue debido a la alta densidad poblacional que existe en la parcela además que al año inicial siempre tendrán un crecimiento rápido por su regeneración natural con relación a la altura pero no en diámetro.

La proyeccion de las curvas de crecimiento del pigue en todas las parcelas describieron una gráfica polinómica de grado dos con un coeficiente de determinacion (R^2) entre 0,997 la parcela 1 y 0,993 en la parcela 2,3 y 4 demostro que el crecimiento del Pigüe (*Pollalesta discolor*) tiene un comportamiento no lineal, con respecto a la proyeccion de las curvas de crecimiento en altura todas las parcelas tambien describieron una gráfica polinómica de grado dos con un coeficiente de determinacion (R^2) entre 0,993 demuestra que el crecimiento del pigue tiene un comportamiento no lineal .

Los datos obtenidos permitieron realizar los modelación matemática y su proyección del crecimiento en diámetro del Pigüe (*Pollalesta discolor*) siendo una madera totalmente aprovechable a los 30 cm para los distintos usos , por cuanto a los 6 años obtendrá 30 cm y hasta los 10 años 35 cm desde un punto de vista ecológico esto garantizara la sostenibilidad de la especie y sustentabilidad del ecosistema.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Con el fin de verificar el comportamiento del crecimiento vegetativo del Pigüe desde una altura inicial en tiempo cero hasta la máxima altura en tiempo n, se deberá tomar datos dendrométricos en forma mensual hasta unos 5 a 10 años.
- ✓ Los datos dasométricos es necesario que sean tomados en distintas zonas geográficas de la amazonia ecuatoriana.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, N. L. (2009). Conocimiento inicial de la fenología y germinación de diez especies forestales nativas en el Padmi, zamora Chinchipe. *Centro de Estudios y desarrollo de la amazonia (CEDAMAZ), y docente Investigador de la Universidad Nacional de Loja*, 69.
- Aguirre, O. (2015). Manejo forestal en el Siglo XXI. *Maderas y bosques*, 21(17-28), 1-12. Recuperado el 19 de Febrero de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000400002
- Aisalla, E. (2012). *Elaboración de manual de detalles constructivos en viviendas de madera. Escuela politécnica nacional*. Quito.
- Akca, A. (1993). Forrest inventory. Institut for Forsteinrichtung and Ertragskunde. Universidad de Gottingen. 180. Recuperado el 26 de Enero de 2018, de <http://exploredoc.com/doc/6365903/murillo--olman--camacho--pablo--1->
- BanKi-Moon. (2015). *Objetivos del desarrollo del milenio informe*. Nueva York: Secretario de la Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/08/para-eliminar-la-pobreza-en-los-proximos-15-anos>
- Camacho, P., & Murillo, O. (1997). Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense*, 21(2). Recuperado el Diciembre de 2018, de https://scholar.google.com.ec/scholar?cluster=880926588341573063&hl=es&as_sd t=0,5&scioldt=0,5
- Camara de Diputados del H. C. d. (2015). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable* (última Reforma DOF 26-03-2015 ed.). Estados Unidos Mexicanos: Secretaria General de Servicios Parlamentarios. Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3264/1/ley_general_de_desarrollo_forestal_sustentable.pdf
- Cancino. (2012). Dendometria Basica. En *Crecimiento* (pág. 121).
- Cancino, J. (2002). *Dendrometria Basica*.

- Cancino, J. (2002,). *Dendometría Básica Cap 6*.
- Cancino, J. (2012). *Dendometría Básica*. Recuperado el 28 de octubre de 2017
- Cancino, J. (2012). *Dendometría Básica Cap 6*.
- CIFOR. (Enero de 2014). *El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador. Manejo sostenible de una especie pionera de madera para los medios de vida locales*.
- Davidson, G. D. (1997). Early Survival, growth and foliar nutrients innative Ecuadorian trees planted on degraded volcanic soil. *El Siever. Forest Ecology and Managemente 105 (1998) 1-19, 7*.
- Erazo, G. I. (2014). El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador: Manejo sostenible de una especie pionera de madera para los medios de vida locales. 26.
- GADMM. (2015). Mapa de la cobertura vegetal del canton Mera.
- GADMP. (2015). Mapa de la cobertura vegetal del canton Pastaza.
- Hernández, H., Gagnon, D., & Davidson, R. (11 de Junio de 2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales les de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. (2). doi:1390-8928
- Hetsch, S. (2004). *“La Comercialización de Madera en la Provincia de Pastaza”*. Alemania: Universidad de Freiburg. Obtenido de <http://www.sfa-ecuador.com/Assets/Comercializaci%C3%B3n-Pastaza.pdf>
- Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epídometria Forestal*. Brasilia: Universidade de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal. Brazilia, Brasil. doi:ISBN 978-85-87599-31-5
- INAMHI. (2015). Instituto Nacional de Metereologico e Hidrología. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- Lopez, V. (29 de Abril de 2009). Proyecto "Puentes de Energía. Energías sostenibles para la reducción de la pobreza". *EnergyBridges-Sustainable energy for poverty redución*. Obtenido de

http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10202.Informe_EnergiasSostenibles.pdf

Madrid, A. (2012). La biomasa y sus aplicaciones energéticas. Recuperado el 26 de noviembre de 2017

MAE. (2014). *Plan Nacional de Restauración Forestal*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Obtenido de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/images/articulos/archivos/amrPlanRF.pdf>

Merino, J. (2010). *Estudio Economico de Dos Formas de Aprovechamiento Forestal del Pigüe (Pollalesta discolor) en el Cantón Mera*.

Oviedo, J. M. (Abril de 2015). Historia y Uso de Energías Renovables. *Daena: International Journal of Good Conscience*, p.8. doi:ISSN 1870-557X

Rodriguez, R. (Marzo de 2009). Guia de densidad P Pinus montezumae en su área de dsitribucion en el estado de Hidalgo. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO .ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FOREST. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Rodri_Laguna/1.pdf

Rodríguez Laguna, R., Valencia Manzo, S., Meza Rangel, J., Capó Arteaga, M. Á., & Reynoso Pérez, A. (2008). CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA COPA DE PROCEDENCIAS DE Pinus gregii N GALEANA, NUEVO LEÓN. *Fitotecniamexicana*, 1. Obtenido de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/31-1/3a.pdf>

Romahn Carlos F, R. H. (1973). *Dendometria* . México: Universidad Autónoma de Chapingo División de Ciencias Forestales.

Spitler, P. (1995). Guía tecnica para el inventario rapido de bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica. *COSEFORMO*, 20.

Vallejo. (1982). Estudio de la factibilidad económica" especie forestal del Pigüe . Hacienda en Pastaza.

ANEXOS

ANEXO 1. EQUIPO DE TRABAJO DE CAMPO

FOTO 2 SOCIABILIZACIÓN CON LOS ESTUDIANTES



FOTO 3 ELABORACIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES





Foto 5 medición de diámetro inferior



Foto 4 medición del diámetro de tronco



Foto 7 Medición de diámetro de copa



Foto 6 Medición de altura total



FOTO 8 EQUIPO DE TRABAJO DE CAMPO



ANEXO 2. CRITERIOS DE DIÁMETROS Y ALTURA DEL PIGUE

Parcela 1	Diámetro del árbol		Largo Total
	Inferior base	Superior final	Metros
1	1,274	0,796	118
2	1,274	0,637	104
3	1,274	0,955	144
4	1,911	0,955	231
5	1,592	0,955	202
6	1,911	0,955	235
7	0,955	0,637	130
8	1,592	0,955	276
9	1,592	0,955	154
10	1,592	0,955	158
11	1,592	1,019	126
12	1,083	0,7962	147
13	1,274	0,955	109
14	1,433	0,955	160
15	0,955	0,796	139
16	1,274	0,955	118
17	1,274	0,955	147
18	0,955	0,955	97
19	0,796	0,796	99
20	1,433	0,796	217
21	0,955	0,796	87
22	0,955	0,637	105
23	1,274	0,796	160
24	0,955	0,796	112
25	0,955	0,637	125
Desviación Estándar	0,312	0,123	48,94
Mínimo	0,796	0,636	87
Máximo	1,910	1,019	276
Rango	1,114	0,382	189

N°: # de muestra

Parcela 2	Diámetro del árbol		Largo Total
	Inferior base	Superior final	Metros
26	2,548	1,592	139
27	2,229	1,274	130
28	2,548	1,911	117
29	2,548	1,911	140
30	2,229	1,274	79
31	1,911	1,274	111
32	0,955	0,637	116
33	2,229	2,548	103
34	1,274	0,955	93
35	1,274	0,637	117
36	2,548	1,911	127
37	0,637	0,318	69
38	1,274	0,637	135
39	1,274	0,637	125
40	0,955	0,318	160
41	0,955	0,318	113
42	1,274	0,955	87
43	3,185	1,911	198
44	2,548	1,911	185
45	4,140	2,866	186
46	2,548	1,274	143
47	2,548	1,592	152
48	2,229	1,274	135
49	2,548	1,592	190
50	2,866	2,229	104
Desviación Estándar	0,842997	0,701842	41,0789
Mínimo	0,636943	0,318471	69
Máximo	4,14013	2,86624	243
Rango	3,50318	2,54777	174

N°: # de muestra

Parcela 3	Diámetro del árbol		Largo Total
	Inferior base	Superior final	Metros
51	1,529	2,548	172
52	1,911	1,274	200
53	1,911	2,675	134
54	1,911	1,592	210
55	1,911	0,637	137
56	0,955	0,637	140
57	2,548	1,592	275
58	2,548	1,592	226
59	1,274	0,732	199
60	0,955	0,637	179
61	1,688	0,955	159
62	1,911	0,955	165
63	1,911	0,955	160
64	1,274	0,955	145
65	1,911	0,955	189
66	1,274	0,637	178
67	1,911	1,274	199
68	1,592	0,637	121
69	1,592	0,955	225
70	1,274	0,955	130
71	0,637	0,318	144
72	0,637	0,637	120
73	0,637	0,637	97
74	0,637	0,637	206
75	0,955	0,318	137
Desviación Estándar	0,56	0,5935	41,294
Mínimo	0,636943	0,31847	97
Máximo	2,54777	2,67516	275
Rango	1,91083	2,35669	178

N°: # de muestra

Parcela 4	Diámetro del árbol		Largo Total
	Inferior base	Superior final	Metros
76	3,025	1,911	243
77	1,592	1,115	113
78	1,115	0,955	107
79	1,115	0,796	118
80	1,115	0,796	102
81	1,433	0,955	111
82	1,433	1,115	135
83	1,752	1,433	134
84	1,433	1,433	207
85	1,433	1,115	183
86	1,752	1,433	132
87	1,433	1,115	175
88	1,433	1,274	130
89	1,433	1,115	167
90	1,592	1,115	167
91	1,115	0,955	162
92	1,115	0,955	148
93	1,433	0,955	108
94	0,796	0,637	146
95	1,115	0,955	123
96	1,433	1,115	149
97	1,592	1,274	148
98	0,796	1,115	90
99	1,115	0,955	134
100	1,433	1,115	136
Desviación Estándar	0,423798	0,257909	34,6717
Mínimo	0,796178	0,636943	90
Máximo	3,02548	1,91083	243
Rango	2,2293	1,27389	153

N°: # de muestra

ANEXO 3. CÁLCULO PARA LA PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE DIÁMETRO Y ALTURA

		Diámetro del árbol		Largo Total	$D=D_0e^{-kt}$		
Años	Inferior base	Superior final	Metros	Diámetro (cm)	TASA	Altura (cm)	altura (m)
0	1,285	0,856	148,00	1,0707005	0,14	148	1,48
1	PARCELA 1			2,910163959	1	402,264	4,02264
2				7,909825641	0,5	1093,35355	10,9335355
3				11,50828093	0,125	1590,75818	15,9075818
4				14,77654219	0,0625	2042,52099	20,4252099
5				17,27524817	0,03125	2387,91028	23,8791028
6				18,97296393	0,015625	2622,58088	26,2258088
7				20,25969026	0,009375	2800,44154	28,0044154
8				21,19210157	0,005625	2929,32621	29,2932621
9				21,84561894	0,003375	3019,66012	30,1966012
10				22,29245534	0,002025	3081,4251	30,814251

		Diámetro del árbol		Largo Total	$D=D_0e^{-kt}$		
Años	Inferior base	Superior final	Metros	diámetro (cm)	TASA	Altura (cm)	Altura (cm)
0	2,05096	1,35032	134,16	1,70064	0,14	134,16	1,3416
1	PARCELA 2			4,62233952	1	364,64688	3,6464688
2				12,56351882	0,5	991,11022	9,9111022
3				18,27910128	0,125	1442,00079	14,4200079
4				23,47022226	0,0625	1851,51767	18,5151767
5				27,43902524	0,03125	2164,6084	21,646084
6				30,13558075	0,015625	2377,33413	23,7733413
7				32,17934394	0,009375	2538,56241	25,3856241
8				33,66033323	0,005625	2655,39462	26,5539462
9				34,69834319	0,003375	2737,2811	27,372811
10				35,4080728	0,002025	2793,27021	27,9327021

Diámetro del árbol		Largo Total	$D=D_0e^{-kt}$				
Años	Inferior base	Superior final	Metros	Diámetro cm	TASA %	Altura cm	Altura m
0	1,49172	1,02803	169,88	1,259875	0,14	169,88	1,6988
1	PARCELA 3			3,42434025	1	461,73384	4,6173384
2				9,3073568	0,5	1254,99258	12,5499258
3				13,54159771	0,125	1825,93243	18,2593243
4				17,38730493	0,0625	2344,48288	23,4448288
5				20,32748961	0,03125	2740,93377	27,4093377
6				22,32516276	0,015625	3010,29757	30,1029757
7				23,83923167	0,009375	3214,45276	32,1445276
8				24,93638414	0,005625	3362,39146	33,6239146
9				25,70536688	0,003375	3466,08015	34,6608015
10				26,23115164	0,002025	3536,97632	35,3697632

Diámetro del árbol		Largo Total	$D=D_0e^{-kt}$				
Años	Inferior base	Superior final	Metros	Diámetro cm	TASA %	altura (cm)	altura (m)
0	1,40127	1,10828	142,72	1,254775	0,14	142,72	1,4272
1	PARCELA 4			3,41047845	1	387,91296	3,8791296
2				9,269680427	0,5	1054,34743	10,5434743
3				13,48678104	0,125	1534,00681	15,3400681
4				17,31692077	0,0625	1969,65267	19,6965267
5				20,24520351	0,03125	2302,71997	23,0271997
6				22,23479004	0,015625	2529,01854	25,2901854
7				23,74272997	0,009375	2700,5339	27,005339
8				24,83544114	0,005625	2824,82051	28,2482051
9				25,60131102	0,003375	2911,93171	29,1193171
10				26,1249674	0,002025	2971,49317	29,7149317

