

TITULO DEL PROYECTO. - Estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*

RESUMEN

Los bosques pueden ser valorados desde diversos enfoques. Desde el punto de vista económico, en la mayoría de casos, esa valoración es en función de la cantidad de madera que producen, por lo tanto, una actividad relevante es la estimación del volumen de los árboles, mediante ecuaciones que lo predicen con base en algunas variables independientes de fácil medición en el campo. Tal estimación puede hacerse con modelos alométricos y de crecimiento que predicen el desarrollo de un bosque y constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en el manejo forestal sostenible. El presente proyecto tiene como pregunta general: ¿Se podrá realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*?; De este modo el objetivo general es: realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*. El método científico que se utilizará, será una investigación cuantitativa causal con alcances correlacionales de predicción, relación y estimación de las variables respuestas ($Y_i = \text{Dap, H, V}$) a partir de las variables predictoras ($X_i = \text{Dtc}$). Los resultados esperados que se espera son que, si se pueda realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*.

Palabras clave: Alométricos, altura comercial, bosques, Dap, ecuaciones, variables, volumen

ABSTRACT:

Forests can be valued from various approaches. From the economic point of view, in most cases, this valuation is based on the amount of wood they produce, therefore, a relevant activity is the estimation of the volume of the trees, through equations that predict it based on some independent variables that are easy to measure in the field. Such estimation can be done with allometric and growth models that predict the development of a forest and constitute an important tool for decision-making in sustainable forest management. The present project has as a general question: Will it be possible to estimate the dap, commercial height and volume of the trunk from the diameter of the stump for *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* and *Vochysia biloba*? In this way, the general objective is: to estimate the dap, commercial height and volume of the trunk from the diameter of the stump for *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* and *Vochysia biloba*. The scientific method that will be used will be a causal quantitative investigation with correlational scopes of prediction, relationship and estimation of the response variables ($Y_i = \text{Dap, H, V}$) from the predictor variables ($X_i = \text{Dtc}$). The expected results that are expected are that, if it is possible to estimate the DBH, commercial height and volume of the trunk from the diameter of the stump for *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* and *Vochysia biloba*.

Keywords: Allometrics, commercial height, forests, dap, equations, variables, volumen

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los bosques pueden ser valorados desde diversos enfoques. Desde el punto de vista económico, en la mayoría de casos, esa valoración es en función de la cantidad de madera que producen, por lo tanto, una actividad relevante es la estimación del volumen de los árboles, mediante ecuaciones que lo predicen con base en algunas variables independientes de fácil medición en el campo. Tal estimación puede hacerse con modelos alométricos y de crecimiento que predicen el desarrollo de un bosque y constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en el manejo forestal sostenible según (Newnham, 1964).

De las características dasométricas de un árbol, el Dap es una variable muy utilizada en el campo forestal, usado para calcular el volumen de los árboles, para definir la estructura de la masa o sencillamente para clasificar los árboles a medir en un inventario según un diseño de muestreo. En la práctica forestal es común el uso de herramientas biométricas para estimaciones en poblaciones forestales las que requieren usar diámetros y alturas que mediante procedimientos de regresión derivan en estimaciones de volumen. Sin embargo, cuando se han efectuado las cortas sólo se dispone de los tocones, por lo que se requieren técnicas para caracterizar la masa original y generar información para definir pautas de manejo de bosques aprovechados según (Bava & López, 2006).

Cuando se realizan trabajos de supervisión o de control del manejo forestal, se efectúan auditorias en las áreas aprovechadas o zonas de cortas ilegales; para llevar a cabo estas diligencias se necesita estimar el Dap (d), Altura Comercial (h) o volumen (v) para caracterizar la masa inicial y a partir de ella, estimar los volúmenes extraídos. Cuando el árbol ya fue talado y aprovechado, es imposible tomar las medidas de Dap del árbol, por obvias razones, sin embargo, la medida del Dap y otras variables como la altura comercial y el volumen se pueden realizar en función del diámetro del tocón, según lo afirman (Pompa, et al 2011) y (Diéguez, et al 2003). Esta relación alométrica puede utilizarse para calcular los volúmenes faltantes.

El problema principal queda planteado de la siguiente manera:

Problema general. - ¿Se podrá realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*?

Problemas específicos:

¿Se podrá realizar la estimación del Dap a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*?; ¿Se podrá realizar la estimación de la altura comercial a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*?; ¿Se podrá realizar la estimación del volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*?

II. JUSTIFICACIÓN.

Determinar el diámetro a la altura del pecho (Dap) o el volumen del árbol a partir del diámetro del tocón, tiene aplicaciones como, calcular el volumen del árbol talado en una corta final o en una corta de clareo ya efectuada; corroborar los resultados de las operaciones de aprovechamiento tras la extracción de los árboles; evaluar el volumen de madera extraído ilícitamente en un lote previamente marcado para la corta; evaluar las prácticas silvícolas realizadas reconstruyendo la composición previa de la masa cuando ésta no se ha medido antes; evaluar los daños producidos por condiciones medioambientales adversas, según lo afirman (Diéguez, et al 2003).

La estimación del Dap en función del diámetro del tocón puede usarse para calcular volúmenes, biomasa, e incluso carbono por la relación con el cambio climático mundial y sus implicaciones con la venta de bonos verdes de los bosques (Jenkins, et al 2004). Teniendo en cuenta lo arriba indicado, el presente proyecto de tesis consiste en determinar si es posible realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*.

III. HIPÓTESIS

$H_0: r_{xy} = 0$ No existe relación entre las variables predictivas (Dt) con la variable respuestas (Dap, h y V).

$H_1: r_{xy} > 0$ Existe relación entre las variables predictivas (Dt) con la variable respuestas (Dap, h y V)

IV. OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*.

Objetivos Específicos:

Realizar la estimación del Dap, a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*; Realizar la estimación de la altura comercial a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*; Realizar la estimación del volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*.

V. ANTECEDENTES

Quiñóñez, et al (2009) en su investigación ajustaron 12 modelos matemáticos para predecir el diámetro normal, la altura total y el volumen del fuste a partir del diámetro del tocón para las especies *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *Quercus sideroxyla* en el Ejido San Diego de Tezains, municipio de Santiago Papasquiaro, Durango, México, utilizando una muestra de 267 árboles derribados y empleando para ello modelos lineales y no lineales. Los resultados indican que el diámetro normal y la altura total pueden ser modelados con precisión con una regresión lineal simple, mientras que el volumen con una logarítmica; siendo estas: $\text{Log}(d) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(dt)$ para d , en h las ecuaciones fueron de la forma: $ht = \beta_0 + \beta_1 dt$ y para v total fue de la forma: $\text{Log}(v) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(dt)$. Así mismo se observa que existe similitud entre especies en las relaciones de las variables estudiadas. Los resultados obtenidos pueden aplicarse en la reconstrucción de escenarios después de una intervención silvícola o de la ocurrencia de fenómenos naturales catastróficos.

García, et al (2017) realizaron la investigación, cuyo objetivo fue ajustar ecuaciones que describan el diámetro normal, altura y volumen como una función del diámetro del tocón de árboles de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham., en Tancítaro, Michoacán, México. Realizaron un muestreo en 71 sitios y 1745 pares de datos $dt-d$, $dt-h$ y $d-v$; incluyendo todas las categorías

diamétricas y de alturas. En SAS 9.0, usando procedimiento Model y el método de máxima verosimilitud, ajustaron modelos lineales y no lineales para predecir d , h y v . Con base en el nivel de significancia de los parámetros de los modelos, sus estimadores de bondad de ajuste, la prueba la normalidad de los datos, homogeneidad de varianza, autocorrelación de los errores y la capacidad predictiva de los mismos, pudieron inferir que estos son válidos para predecir el d , h y v en función del dt . Todos los modelos explican más de 91% de la variabilidad de los datos.

Kees & Gómez (2013) El objetivo de su trabajo fue ajustar modelos matemáticos que permitan estimar el diámetro normal y volumen de fuste a partir del diámetro del tocón en forestaciones con *Prosopis alba*. Trabajaros con una muestra de 100 árboles provenientes de 32 parcelas ubicadas en 17 sitios distribuidos en 12 departamentos de la provincia del Chaco. En cada parcela seleccionaron de 3 a 5 árboles, para abarcar todo el rango de clases diamétricas presentes. A cada árbol se midió el diámetro normal (dn), a la base o tocón (db) y el diámetro al final del fuste (da) con cinta diamétrica. La altura de fuste (hf) fue medida con vara graduada, con precisión al decímetro. Utilizaron la fórmula de Smalian para calcular el volumen de cada fuste. Los datos fueron procesados con Excel 2007 y analizados con el paquete estadístico Infostat 2012. Probaron varios modelos matemáticos lineales y no lineales. Los modelos que mejor ajustan en la estimación de diámetro normal y volumen de fuste corresponden al tipo logarítmico; por lo que pueden recomendarse, de manera preliminar, para la determinación de diámetros normales y volúmenes de fuste individuales en forestaciones con *Prosopis alba* en la provincia del Chaco.

Martínez & Acosta (2014) en su trabajo generaron tres ecuaciones para estimar el diámetro normal, altura y volumen total a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina* en el predio forestal de Ixtlán de Juárez, Oax., con una muestra de 54 árboles. Para obtener la ecuación más confiable a la relación funcional: (a) diámetro normal–diámetro del tocón, (b) altura total–diámetro del tocón y (c) volumen total–diámetro del tocón, ajustaron modelos lineales y no lineales a la base de datos. Los criterios para definir el ajuste en los tres casos lo basaron en el coeficiente de determinación normal y ajustado, el cuadrado medio del error, P-valor, coeficiente de variación, suma y dispersión de residuales contra valores predichos. El modelo con mayor bondad de ajuste para la estimación del diámetro normal con base en el diámetro del tocón fue el modelo de regresión lineal simple, y para los otros dos casos, fue el modelo potencial. Con las correspondientes ecuaciones generadas pudieron estimar de forma precisa los valores de las variables dependientes y evaluar diferentes escenarios en áreas afectadas por fenómenos naturales o antropogénicos.

Diéguez, et al (2003) ajustaron las relaciones de diámetro normal y de volumen para seis de las especies forestales de mayor interés comercial en Galicia (*Eucalyptus globulus* Labill., *Pinus radiata* D. Don, *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L. y *Betula alba* L.), utilizando una muestra de 1450 árboles cortados en masas regulares de dichas especies, y empleando para ello modelos lineales y alométricos transformados mediante logaritmos. Los resultados obtenidos mostraron una predicción adecuada de las relaciones indicadas, siendo el diámetro de tocón la variable más directamente relacionada con las mismas. La inclusión de la altura del tocón como variable explicativa no ha supuesto mejoras significativas en las estimaciones, salvo en el caso de *Betula alba*.

García, et al (2016) su objetivo fue desarrollar ecuaciones predictivas del diámetro normal en función del diámetro del tocón para *Abies religiosa*, en Tancítaro, Michoacán. Tomaron 1083 pares de datos de $dn-dt$, de diferentes categorías diamétricas. Para el ajuste usaron PROC MODEL y la selección de la mejor ecuación hicieron con base en el Cuadrado Medio del Error (CME), la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME), nivel de significancia de los estimadores ($Pr > |t|$) y el Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), además y analizaron la distribución de residuales. El

cumplimiento de los supuestos de la regresión, lo verificaron con la prueba de Shapiro Wilk y para la precisión de las predicciones estimaron el sesgo (\bar{E}). Las ecuaciones obtenidas fueron: $d = 1.11149 + 0.92267dt$, $d = 0.173763dt(1.3/ht)^{1.048363}$, y $d = 1.11149 + 0.92267(0.92267dt)$. Los estadísticos CME = 2.216, 2.093 y 2.216, la R^2_{adj} = 0.9938, 0.9942 y 0.9938, la significancia de los parámetros $Pr > |t| < 0.0001$, la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, así como su capacidad predictiva, permite inferir que las ecuaciones son válidas para predecir el dn en función del dt . Las expresiones que se ajustaron indican una tendencia lineal entre las variables dn y dt .

Cruz, (2016) menciona que el *Pinus patula* y el *Pinus pseudostrobus* son las especies de mayor distribución e importancia económica en la región de Chignahuapan - Zacatlán, perteneciente a la Unidad de Manejo Forestal 2108 (UMAFOR 2108) en el estado de Puebla, para ambas generó: 1) modelos locales, capaces de predecir la altura total (H), partiendo del diámetro normal; 2) modelos regionales, que a diferencia de los anteriores incluyen además del diámetro normal, variables de estado para la predicción de la altura y, 3) modelos predictores del diámetro normal (Dn), con base en diámetro del tocón (Dt). Los modelos fueron ajustados mediante la técnica de mínimos cuadrados ordinarios y su efectividad lo analizó usando estadísticos que miden la magnitud del sesgo y la precisión del ajuste. Evaluaron 34 modelos locales, 7 regionales y 5 modelos de diámetro normal - diámetro del tocón. Dentro de los locales, los modelos que estimaron con mayor precisión la altura total fueron compuestos por tres parámetros. Respecto a los regionales, los que se consideraron los modelos más precisos fueron aquellos con tres parámetros que además incluyeron en su estructura matemática a la altura dominante como variable de estado. Por último, para los modelos diámetro normal - diámetro del tocón, el que estimó con mayor precisión fue un modelo lineal con dos parámetros en su estructura.

Filio (2010) Sustenta que su estudio se fundamenta en el análisis de modelos matemáticos de regresión y correlación de las variables predictivas como diámetro y altura del tocón, con la finalidad de estimar el diámetro normal y el volumen comercial del tronco de árboles talados. El trabajo de investigación se desarrolló en el bosque comunal de Huanchar (Plan Operativo del año 03 - POA3) aprovechadas en el año 2007 al 2008, ubicado en el Distrito de Santa Rosa de Ocopa, Provincia de Concepción; para estimar el diámetro normal (DN) y volumen comercial (VC) a partir del diámetro del tocón (Dtc) y altura de tocón mediante una ecuación predictiva de los árboles cortados del POA3, ubicaron árboles del POA4 que tienen las mismas características del bosque talado, donde evaluaron en forma sistemática 20 muestras (0.1 ha cada uno) de 255 parcelas y se obtuvieron en total 500 unidades de observación, donde evaluaron las siguientes variables: Diámetro a la altura de tocón (Dtc), Altura de tocón (Htc), diámetro normal (DN), HC y VC . El método científico utilizado, corresponde a una investigación cuantitativa causal con alcances correlacionales de predicción, relación y estimación de las variables respuestas ($Y_i = DN, VC$) a partir de las variables predictivas ($X_1 = Dtc, X_2 = Htc$). Ha probado la factibilidad predictiva de 08 modelos matemáticos, resultandos factibles los siguientes modelos: Para la Estimación de diámetro normal (1) $DN = 0,125 + 0,893Dtc$; $r = 0.999$; (2) $DN = 11,324 + 0,015Dtc^2$; $r = 0.985$; y (3) $\ln DN = -0,087 + 0,994 \ln Dtc$; $r = 0.999$; para la estimación del volumen comercial (1) $\ln VC = -9,769 + 2,4 \ln Dtc$, $r = 0.904$.

Garcia, et al (2017) El objetivo de su investigación fue desarrollar ecuaciones predictivas de las relaciones $d-dt$, $h-dt$ y $v-dt$ de ocho especies forestales tropicales de Quintana Roo (caoba, cedro rojo, chacáh, chechem, ramón, sacchacáh, tzalam y chicozapote), mediante un muestreo dirigido y la medición directa de 1169 pares de datos $d-dt$, y la medición indirecta de la altura (h) de árboles. Se incluyeron todas las categorías diamétricas y de alturas posibles en diferentes condiciones de crecimiento. Se ajustaron modelos lineales y no lineales para predecir las variables d , h y v a partir del dt , con el método de mínimos cuadrados. El nivel de significancia de los parámetros de los

modelos, sus estimadores de bondad de ajuste, la distribución de residuales, y la capacidad predictiva de los mismos indican que los modelos son válidos para predecir y explicar la variabilidad del d , h y v en función del dt .

Bava & López (2006) hicieron una investigación con el objetivo de construir una herramienta que brinde información de base para la toma de decisiones específicas de cada rodal, midieron 973 ternas de datos (d ; dh ; h) distribuidos en 60 sitios a lo largo de la cuenca del Lago Fagnano, para luego ajustar modelos predictores de d en función de las otras dos variables con el método de pasos sucesivos. Dada la heterocedasticidad encontrada, se repitió el procedimiento con las variables logaritmizadas. seleccionaron el modelo $\log d = a + b \log d_h + c \log (d_h/h)$, ($R^2 = 0,971$; $EEE = 0,0324$). Mencionan que esta herramienta permite determinar el DAP de los árboles que fueron apeados, a partir de las dimensiones del tocón, y se podrá utilizar tanto para determinar la estructura original del bosque como para determinar las características de un aprovechamiento ya realizado.

Benitez, et al (2004) realizaron un estudio en plantaciones que se encuentran en la sabana serpentina de la provincia de Camagüey, Cuba, ubicadas en áreas de la localidad Las Cuabas de la Unidad Silvícola Camagüey pertenecientes a la Empresa Forestal Integral Camagüey. En este trabajo desarrollaron un modelo matemático partiendo de una muestra de 211 árboles de *Casuarina equisetifolia* Forst., que permite determinar el diámetro normal (d) a partir del diámetro del tocón ($dtoc$), utilizándose 99 valores para el análisis de regresión y 112 para realizar la validación de la ecuación. Los datos fueron obtenidos de 10 parcelas temporales de muestreo de 500 m² ubicadas en el área mediante un muestreo aleatorio simple, procesaron mediante procedimientos de regresión. La ecuación logarítmica, seleccionada para la construcción de la tabla de estimación, $Ln(d) = \beta_0 + \beta_1 Ln(dt) \pm \beta_2$, estima los valores con gran precisión.

Pompa, et al (2011) El objetivo de su estudio fue proponer un modelo dendrométrico no lineal que incluyera la altura del tocón como variable predictiva. Ajustaron datos de 304 árboles de *Pinus durangensis* derribados para aprovechamiento en el área de influencia de Silvicultores Unidos de Guachochi, al suroeste del estado de Chihuahua durante el 2009. Su bondad de ajuste fue comprobada por medio del sesgo, la raíz del error medio cuadrático y el coeficiente de determinación ajustado, y arrojó valores de 2.39, 5.74 y 0.96. Con estos criterios el modelo estimó satisfactoriamente los diámetros normales con corteza. La inclusión de la altura del tocón mejoró la precisión del modelo y es consistente para predecir diámetros de distintos tamaños. Debido a que en la región se cuenta con ecuaciones de volumen total, recomiendan utilizar el modelo para predecir el diámetro normal y luego aplicar una tarifa de cubicación local para estimar el volumen del tronco.

Castañeda y Cortés (1984) en su artículo presentan cuadros y ecuaciones de regresión usando altura del tocón (A) y de diámetro del tocón (Dt) con corteza para estimar el diámetro a altura del pecho (DAP) de dos especies de pino en Honduras: *Pinus caribaea* Morlet y *Pinus oocarpa* Schiede. Sus predicciones de DAP son buenas para tocones con alturas entre 15 y 61 centímetros. Usaron la técnica de combinación de regresiones según descrita por Wiant (1978) para estimar valores de DAP en *P. caribaea*. Sin embargo, el modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 Dt + \beta_2 A$ resultó dar mejores estimaciones en *P. oocarpa*. Todas sus ecuaciones fueron confiables a un nivel de significancia del 1 % y el error estándar de lo estimado fue menor de 1.60 centímetros en ambas especies.

Zarate (2021) en su investigación determino un modelo matemático del árbol algarrobo (*Prosopis pallida*) en relación a las variables diámetro-altura y proyectar el volumen aprovechado de manera ilegal. Sus unidades de muestreo fueron 13 parcelas distribuidas en el área con separación entre ellas de 250 metros, sus medidas de 50 x 50 metros dando así 2500 metros cuadrados por

parcela resultando un total de 3,25 hectáreas muestrales, en las cuales se llevó a cabo el método de zigzag y barrido al momento de la recolección de datos se inventario 2 fichas técnicas la primera ficha se registró diámetro del fuste y altura total de la especie en pie. En la segunda levanto medidas del diámetro tocón y altura del tocón en donde obtuvo un registro de noventa y nueve (99) árboles en pie, y ciento treinta y dos (132) tocones, el modelo matemático con mejor ajuste que obtuvo en el proceso de regresión con los datos de la primera ficha fue el potencial $y=b_0x^{b_1}$ con coeficiente de correlación de 0,97 y con coeficiente de determinación de 0,94 es decir con un 94 por ciento de relación entre ambas variables. Proyectaron 132 alturas correspondientes a la relación del diámetro de la ficha 2 obteniendo alturas de 0,75 a 6,32 metros. Luego procedió al cálculo volumétrico aprovechado lo cual llevó a cabo con la fórmula $V = \pi 4 (D)^2 * L * \text{Coef. Forma}$, dando un total de 290,3 metros cúbicos aproximadamente en toda el área de la concesión. Analizando los resultados pudo deducir que los métodos de regresión y formulas volumétricas son factibles para proyección de datos.

Hernández et al (2014) tuvieron el objetivo de proponer un modelo matemático que estime de manera confiable el diámetro normal (Dn) en función del diámetro del tocón (Dt). Con 248 pares de datos de *Pinus montezumae* provenientes de las masas forestales de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, ajustaron 7 de los modelos más utilizados en la literatura. La bondad de ajuste de cada uno de ellos lo verificaron con los valores del Cuadrado Medio del Error (CME), Pseudo Coeficiente de Determinación (R2), Sesgo (E), la Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC) y el Coeficiente de Determinación Ajustado (R2 ajus). Con estos criterios el modelo que estimó de mejor manera el diámetro normal a partir del diámetro de tocón fue: $dn=b_0+b_1(dt)^{b_2}$. La inclusión de la altura del tocón mejoró la precisión del modelo y es consistente para predecir diámetros de distintos tamaños. En la región se cuenta con ecuaciones de volumen total y recomiendan utilizar el modelo para predecir el diámetro normal y después aplicar una tarifa de cubicación local para estimar el volumen del tronco.

Peña (1992) menciona que a partir de los datos obtenidos durante la cosecha de un bosque pequeño de *Eucalyptus globulus*, situado cerca de Ovale, IV Región, logro construir funciones de Altura y Volumen para monte bajo, aplicando modelos lineales y simples y establecer un análisis comparativo entre los distintos modelos aplicados. La mejor función para la Altura correspondió a: $H = -21,92110476 + 13,68965982 \ln (DAP)$. Luego de la corrección del sesgo variable determinado en el análisis de bondad de ajuste, quedó definida como: $H = -24,80068023 + 17,42034911 \ln (DAP)$. La mejor función para el volumen correspondió a: $V = 0,037209753 + 0,00002662916735 (DAP)^2 H$. Sin embargo, sugiere utilizar, dependiendo de condiciones de medición de H, la siguiente función. $V = -0,053692893 + 0,0008713354484 (DAP)^2$. Es necesario considerar que las funciones de volumen se elaboraron sólo con 20 árboles por lo que su consistencia estadística puede ser baja y su aplicabilidad tiene un carácter muy local.

Mendoza (2014) menciona que los modelos que ajustaron indican una tendencia lineal entre las variables de diámetro normal y altura del tocón, en función con el diámetro del tocón. Mientras que, para volumen, presentó una tendencia exponencial. Obtuvieron ecuaciones con buenos ajustes que permiten estimar el diámetro normal, altura y volumen de los árboles apeados a partir del diámetro y la altura del tocón. Las ecuaciones obtenidas incorporan las variables diámetro y altura de tocón, que son medidas fáciles de tomar en el campo. La relación diámetro normal y volumen con el diámetro del tocón pudo estimar en función de datos de inventarios forestales obteniendo predicciones aceptables.

Flores (2016) afirma que la estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón puede realizarse de forma confiable por medio de una regresión lineal simple, ya que alcanza estadísticos confiables con R^2 por arriba de 0.9 y REMC muy bajas. La altura se puede estimar de forma precisa con base en el diámetro del tocón por medio del modelo polinomial. Para estimar el volumen creó un modelo polinomial, a partir de un sistema de ecuaciones, esto redujo el error de heterocedasticidad con lo cual puedo estimar con mayor precisión el volumen total. Las relaciones funcionales generadas fueron de utilidad para reconstruir escenarios en las áreas afectadas por condiciones naturales o efectos adversos dentro del área de estudio. Esta información fue de utilidad para determinar las dimensiones individuales y el volumen total de *Pinus pseudostrobus*. Los modelos seleccionados predicen satisfactoriamente el comportamiento de las variables diámetro normal, altura total y volumen, respectivamente, en función del diámetro del tocón, por lo que pudo concluir que estos modelan las variables estudiadas, los parámetros de los modelos fueron todos significativos con una $p \leq 0.05$.

Rueda, et al (2020) menciona que la mayoría de las tablas de volumen que han elaborado, han sido para especies de coníferas de bosques de clima templado frío. Por este motivo los objetivos de su investigación fue predecir con modelos matemáticos el volumen fustal y elaborar tablas de volúmenes de plantaciones de *Tectona grandis* L.f. Su tamaño de muestra fue de 32 árboles por plantación, a los que les midió, con telerelascopio, el diámetro de tocón, diámetro normal y el diámetro a diferentes secciones hasta la altura total. Probaron cuatro modelos matemáticos mediante el procedimiento Model del paquete estadístico SAS 9.2®. La selección del mejor modelo lo hizo a partir de la suma de cuadrados del error (SCE), la raíz del error medio cuadrático (REMC) y R^2_{adj} , además, de la significancia de sus parámetros, verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de la frecuencia de residuales. Afirma que el modelo de la variable combinada fue el de mejor ajuste con $SCE = 0.4635$ y 1.0590 , $REMC = 0.1240$ y 0.21 y $R^2_{adj} = 0.92$ y 0.78 en plantaciones de Jalisco y Nayarit, respectivamente, y con él elaboraron tablas de volúmenes en cada una de las localidades.

Telles et al (2018) en su investigación tuvo el objetivo de ajustar y seleccionar un modelo matemático para predecir el volumen fustal de *Tectona grandis* L. f. en una plantación de 11 años de edad en Nuevo Urecho, Michoacán. Su muestra analizada fue de 128 árboles, a los que les midió el diámetro de tocón, diámetro normal y el diámetro a distintas secciones, desde la altura de tocón hasta altura total. Ajustaron seis modelos de volumen fustal mediante el procedimiento Model del paquete estadístico SAS 9.2®. La selección del modelo lo hizo a partir de la suma de cuadrados del error (SCE), la raíz del error medio cuadrático (REMC) y R^2_{adj} además de la significancia de sus parámetros. Verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de la frecuencia de residuos. Generó un criterio de calificación que jerarquizó cada estadístico en función al orden de importancia, siendo mejores aquellos con el valor más bajo en la calificación total. Menciona que el modelo de Meyer fue el de mejor ajuste con $SCE = 0.0399$, $REMC = 0.0179$ y $R^2_{adj} = 0.8246$, la prueba de Shapiro-Wilk (0.97), White's Test (13.00) y la de Durbin-Watson (2.0112) no violan los supuestos de la regresión y garantizan la eficacia del modelo para la estimación de la variable dependiente. Este modelo lo considera apropiado para predecir con mayor precisión el volumen fustal en función del diámetro normal (d) y la altura total (AT) de *T. grandis* en plantaciones con condiciones físicas y biológicas similares a las del sitio de este estudio.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. Taxonomía y descripción de especies estudiadas

6.1.1. *Allantoma decandra* (Ducke), (cachimbo).

Descripción: Árboles de hasta 40 m de altura, base recta, raíz superficial larga, fuste cilíndrico. Corteza con ritidoma marrón a cenizo, con fisuras paralelas, sin desprendimiento; al corte corteza muerta marrón oscura, corteza interna rojiza, fibrosa. Hojas simples, pecíolo glabro de 1-2,5 cm de largo; lámina oval o elíptico, 6-12 cm de largo por 3-7 cm de ancho, consistencia papirácea, con el envés glabro y sin punteaduras. Inflorescencias en panículas, terminales o subterminales de 12 cm de largo, raquis glabro. Cápsulas leñosas, dehiscentes, 8-13 cm de largo, 2,5-3,5 cm de diámetro al nivel del anillo calicinal. Semillas aladas de 2-2,5 cm de largo, cuando maduras unidas por un arilo aplastado en ala unilateral de 5-7 x 1,5-2 cm (Spichiger et al 1989) y (Procopio, 2004).

6.1.2. *Brosimum utile* (Ducke) (panguana).

Distribución y hábitat: Se encuentra principalmente en bosques no inundados principalmente en los bosques húmedos tropicales de zonas bajas y en bosques premontanos en alturas menores a los 900 msnm, según Parrado (2007). Distribuida desde México a toda la cuenca amazónica (Venezuela, Ecuador, Colombia, Péguy norte de Brasil; así como en Guyana, Surinam y Guyana Francesa). En el Perú se encuentra en los departamentos de Huánuco, San Martín, Loreto y Ucayali. Actualmente debido a su abundancia en los bosques y su fácil trabajabilidad le permiten exportar a los países vecinos con otro nombre en forma de madera aserrada y triplay con el nombre de Sande (Aróstogui, 1982).

6.1.3. *Vochysia biloba* Ducke (camungo moena).

Descripción: Stafleu (1948) menciona que es un árbol alto. Ramillas cuadrangulares, flancos cóncavos, ángulos obtusos, marrón rojizo, vglabras o muy ligeramente pilosas. Estípulas gruesas, deltoides, sobre o. 1 cm de largo, base o. 1-0,2 cm de ancho. Hojas opuestas. Pecíolos 1,2-2,0 x 0,3-0,5 cm, ligeramente tomentosos. Hoja obovada o cuneadas, 11-17x5-9 cm, rígidamente coriáceas; ápice bilobobcordado o ampliamente truncado y emarginado-retuso; marginación a 2 cm de profundidad y 4 cm de ancho; base redondeada, obtusa o cuneada. Superior superficie de la hoja glabra.

6.2. Modelos de regresión y correlación

Silva y Salinas (2006) mencionan que los Modelos de Regresión, son para referirnos a una función matemática que intenta modelar probabilísticamente una Variable Respuesta en estudio, en relación a uno o más predictores de interés. El modelo más simple está constituido por una relación lineal entre dos variables que responde a la pregunta: Dado un valor x de la variable predictora, ¿cuál sería el valor promedio (o esperanza) de todos los posibles valores de Y observables en presencia de $X=x$?

6.2.1. Análisis de correlación

Permite medir si hay asociaciones de 2 variables o medir la intensidad de dicha asociación, para ello participan 2 factores (Salvador, 2012).

Coeficiente de correlación (r). Es un número que indica la intensidad de asociación entre 2 variables, los valores del coeficiente de correlación varían entre el -1 y 1. La correlación puede ser positiva o negativa.

Condición de aplicación.

Para Salvador (2012) se dan los casos siguientes:

1er caso. Variable “x” independiente y la variable “y” dependiente, muestra aleatoria. 2do caso. Variable “x” y “y” interdependiente y muestra aleatoria.

Determinación del coeficiente de correlación $\ell = r$

$$r = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SC_x \cdot SC_y}}$$

Determinación del coeficiente de determinación.

El coeficiente de determinación mide la proporción de $|k^2|$ variación de la variable “y” ocasionada por la variable “x” (Salvador, 2012).

Prueba de conformidad del coeficiente de correlación.

Caso 1: “T” de Student.
Ho : $r = 0$

$$T_{obs} = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Caso 2 Tabla “J” se aplica cuando $n \leq 100$

$$|r| \geq r_{1-\alpha/2} \Rightarrow RHo$$

con. $n-2 gl$

6.2.2. Regresión lineal simple

Para Salvador (2012) consiste en relacionar 2 variables en estudio, la regresión lineal puede ser de 2 tipos: **Variable independiente (x) y variable dependiente (y)**. Cuya condición de aplicación es cuando los valores de “y” deben ser normales independientes y de la misma varianza; y de **variable interdependiente**.

La ecuación de la recta

Cardona et al (2013) afirman que la ecuación para una línea recta donde la variable dependiente Y está determinada por la variable independiente X es: $Y = a + bX$. Donde a representa la “ordenada Y” porque su valor es el punto en el cual la línea de regresión cruza el eje Y, es decir, el eje vertical.

Determinación del coeficiente de regresión. (B = b)

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n xy}{\sum_{i=1}^n X^2}$$

$$b = \frac{SP_{xy}}{SC_x}$$

El coeficiente de regresión indica la cantidad de variación de la variable dependiente (y) cuando la variable independiente (x) varía en una unidad.

Prueba de conformidad de la ecuación de regresión. $H_0 : b > 0$

$$T_{obs} = |b| \sqrt{\frac{(n-2)SCx}{SCy - \frac{SP_{xy}^2}{SCx}}}$$

Estimado de σ^2

Cardona et al (2013) afirma que la varianza de ϵ también representa la varianza de los valores de y respecto a la línea de regresión. Así, la suma de los residuales al cuadrado, SSE, es una medida de la variabilidad de las observaciones reales respecto a la línea de regresión. Cada suma de cuadrados tiene asociado un número que llamamos grados de libertad. Se ha demostrado que SSE tiene $n - 2$ grados de libertad, porque se deben estimar dos parámetros α y β . El error cuadrado medio (s^2) es el estimado de σ^2 . calcula mediante la ecuación:

$$s^2 = \frac{SSE}{n - 2} = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}$$

Donde:

\hat{y}_i = valor estimado de la variable dependiente para la i-ésima observación.

y_i = valor observado de la variable dependiente para la i-ésima observación.

Desviación estándar de la estimación

Cardona et al (2013) menciona que el error típico o desviación estándar del estimado se calcula como la raíz cuadrada de la varianza del estimado.

$$s = \sqrt{\frac{SSE}{n - 2}} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

Observaciones influyentes

Existen situaciones en las cuales una o más observaciones tienen una gran influencia sobre los resultados obtenidos. Una observación es influyente si tiene un impacto notable sobre los coeficientes de regresión ajustados porque “jalan” al modelo en su dirección. Se caracterizan por tener un valor moderadamente inusual tanto en las predictoras como en la respuesta, según (Lopera, 2002).

6.2.3. Regresión no lineal

Salvador (2012) menciona que se presenta cuando 2 variables no presentan una relación lineal, por lo tanto, se puede proceder al no ajustamiento de una curva de regresión.

Regresión no lineal: Consideraciones sobre los datos

Datos. Las variables dependientes e independientes deben ser cuantitativas. Las variables categóricas, como la religión, la mayoría de edad o el lugar de residencia, han de recodificarse como variables binarias (dummy) o como otro de los tipos de variables de contraste (IBM, 2022).

Supuestos. Los resultados son válidos sólo si se ha especificado una función que describa con precisión la relación entre las variables independientes y las dependientes. Además, la elección de buenos valores iniciales es muy importante. Incluso si se ha especificado la forma funcional correcta para el modelo, si no utiliza valores iniciales adecuados, puede que su modelo no logre converger o puede que obtenga una solución que sea óptima localmente en vez de una que sea óptima globalmente (IBM, 2022).

6.3. Uso de la ecuación de regresión para estimar y predecir

Cardona et al (2013) afirman que, si el análisis de la ecuación de regresión obtenida con los datos demuestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, y si el ajuste que proporciona la ecuación es bueno, esa ecuación podría usarse para estimaciones y predicciones.

6.3.1. Estimación de intervalo

Estimado del intervalo de confianza del valor medio de y Cardona et al (2013) afirma que, dado que no se puede esperar que \hat{y}_p sea exactamente igual a $E(y_p)$. Entonces es necesario considerar la varianza de los estimados basados en la ecuación de regresión. La fórmula para estimar la desviación estándar de \hat{y}_p dado un valor particular de x , x_p , es:

$$s_{\hat{y}_p} = s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}}$$

Donde:

X_p = Valor particular de x para predecir Y_p .
 \bar{x} = Promedio de los valores independientes observados.
 x_i = Valor de la variable independiente para la i -ésima observación.
 n = Cantidad de valores observados
 s = Desviación Estándar

La ecuación general para un estimado del intervalo de confianza de $E(y_p)$ dado un valor particular de x es: $\hat{y}_p \pm t_{\alpha/2} * s_{\hat{y}_p}$

Donde \hat{y}_p es el estimado del valor particular de y , obtenido de $\hat{y} = a + bx$ que es la ecuación de regresión, y el coeficiente de confianza es $1-\alpha$ y $t_{\alpha/2}$ se basa en una distribución t con $n-2$ grados de libertad (Cardona et al 2013).

Estimado del intervalo de predicción para un valor particular de y

Cardona et al (2013) menciona que para determinar un estimado del intervalo de predicción debemos determinar primero la varianza asociada al empleo de \hat{y}_p como estimado de un valor individual de y . Esta varianza está formada por la suma de dos componentes: La varianza de los valores individuales de y respecto del promedio, cuyo estimado es s^2 y la varianza asociada al uso de \hat{y}_p para estimar $E(y_p)$, cuyo estimado es $s_{\hat{y}_p}$. Así, el estimado de la varianza de un valor individual es: $s_{ind}^2 = s^2 + s_{\hat{y}_p}^2$

Por consiguiente, un estimado de la desviación estándar de un valor un individual de \hat{y}_p es:

$$s_{ind} = s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}}$$

Cardona et al (2013) afirma que la ecuación general para un estimado del intervalo de predicción para un valor individual de y dado un valor particular de x es: $\hat{y}_p \pm t_{\alpha/2} * s_{ind}$

En donde el coeficiente de confianza es $1-\alpha$ y $t_{\alpha/2}$ se basa en una distribución t con $n-2$ grados de libertad.

Estimación de los parámetros del modelo de regresión lineal

Uno de los conceptos fundamentales sobre el cual se basa el análisis de regresión, consiste en que la ecuación de regresión lineal obtenida a partir de datos de una muestra, es un estimado de los parámetros del modelo para la población. Por lo tanto, es posible determinar intervalos de confianza para los coeficientes de la ecuación de regresión $y = \alpha + \beta x$ según (Cardona et al 2013).

$$\alpha = a \pm t_{\alpha/2} * s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\bar{x})^2}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}} \quad \beta = b \pm t_{\alpha/2} * \frac{s}{\sqrt{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}}$$

El residual en la observación i -ésima es la diferencia entre el valor observado de la variable independiente (y_i) y el valor estimado de esa variable (\hat{y}_i). En otras palabras, el i -ésimo residual es el error debido al uso de la ecuación de regresión para predecir el valor de y_i . Un análisis de esos residuales ayudará a determinar si son adecuados los supuestos que se hicieron sobre el modelo de regresión; de hecho, ofrecen la mejor información con respecto a ϵ (letra griega épsilon, que representa el error y es una variable aleatoria; el término de error explica la variabilidad en y que no se puede explicar con la relación lineal). (Anderson et al 2001).

6.4.1. Gráfica de residuales en función de x

Ésta es una gráfica en la que los valores de la variable independiente se representan en el eje horizontal y los valores de los residuales correspondientes, en el eje vertical. Se grafica un punto para cada residual (Cardona et al 2013). También es usual presentar la gráfica de residuales con respecto a los valores de la variable dependiente (\hat{y}_i) estimados por la ecuación. Para la regresión lineal simple, la gráfica de residuales en función de x y la de residuales en función de \hat{y} muestran la misma información; mientras que, para la regresión lineal múltiple, la gráfica de residuales en función de \hat{y} se usa con más frecuencia, porque se maneja más de una variable independiente. (Anderson et al 2001).

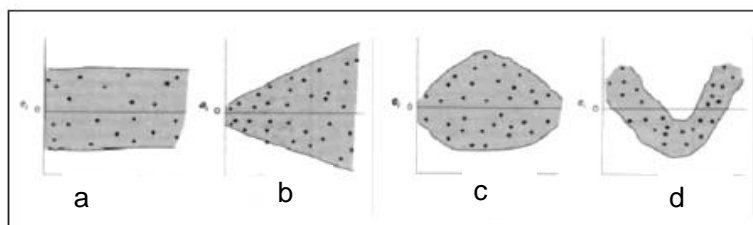


Figura 1: Posibles patrones de distribución de los residuales, fuente (Lopera, 2002)

Cardona et al (2013) menciona que en la Figura 1 se observan cuatro posibles resultados para la gráfica de residuales. Si es cierta la hipótesis de que la varianza de ϵ es igual para todos los valores de x y si el modelo de regresión lineal es una representación adecuada de la relación entre las variables, entonces, la gráfica debe mostrar un patrón muy similar a una franja horizontal de puntos (figura 1a). Ahora bien, si la varianza de ϵ no es constante —por ejemplo, si la varianza aumenta conforme aumenta el valor de la variable independiente— se puede observar un patrón como el de

la figura 1b. Sin embargo, no es la única forma en que se puede dar que la varianza de ϵ no sea constante como en la figura 1c. Otra posibilidad es la de la figura 1d, en este caso se concluiría que el modelo lineal no representa adecuadamente la relación entre las variables y entonces se pensaría en modelos curvilíneos o de regresión múltiple.

6.5. Estimación de Dap, altura y volumen comercial a través de las relaciones matemáticas.

Para Barrio et al (2004), existe una relación lineal entre el diámetro normal (Dap) y el diámetro del tocón; Corral et al (2007) sugieren un ajuste lineal debido los buenos resultados para especies de pino del norte de México, por consiguiente, dicha relación se puede representar con la expresión: $d = \beta_0 + \beta_1 dt$

Un excelente modelo es la relación funcional entre el diámetro del tocón y el diámetro normal, que puede expresarse con un parámetro no lineal y se genera la siguiente expresión potencial según (Prodan 1968): $d = \beta_0 + \beta_1 dt^{\beta_2}$

Para predecir la altura en función del diámetro del tocón, Quiñónez et al (2009) ajustaron los modelos recomendados por (Diéguez et al 2003), (Benitez et al 2004) y (Corral et al 2007), quienes presuponen una relación lineal o exponencial entre el diámetro del tocón y la altura total, obteniendo los mejores resultados con la siguiente expresión lineal: $h = \beta_0 + \beta_1 dt$

Dada la distribución de datos de la relación funcional entre el diámetro del tocón y la altura total, también se sugiere una relación con un parámetro no lineal, como la siguiente expresión potencial según (Prodan 1968): $h = \beta_0 + \beta_1 dt^{\beta_2}$

La altura total en función del diámetro de tocón, visto este como un indicador relacionado directamente con la edad de los árboles, sugiere relaciones de tipo sigmoide, mismas que se pueden modelar con ecuaciones polinomiales de segundo orden, como la expresión siguiente según (García et al 2017): $h = \beta_0 + \beta_1 dt + \beta_2 dt^{\beta_2}$

Para estimar el volumen, se emplea la relación que este tiene con el diámetro normal o de tocón según Prodan et al (1997) expresada con una función potencial según (Picos y Cogolludo 2008): $v_i = \beta_0 dt^{\beta_1}$

Teniendo $\beta_0 > 0$ y $\beta_1 \geq 0$, donde β_0 es un número real, distinto de 0 y β_1 es un número natural distinto de 1. El anterior es un modelo comúnmente usado, conocido como modelo potencial según (Prodan et al 1997).

VII. METODOLOGIA

7.1. Lugar de Estudio.

La investigación se realizó durante las actividades de censo en las 3 parcelas (PC 10, 11 y 12) corresponde al Plan Operativo 08 de la CC. NN. Canapishtea, cuya coordenada UTM de georreferencia es 622000 Este y 8866000 Norte, con un área de 3518 hectáreas, distrito Tahuania, Atalaya, Ucayali.

7.2. Población y tamaño de muestra.

Población

La población donde se establecerá la investigación se encuentra en las 3 parcelas (PC 10, 11 y 12) corresponde al Plan Operativo 08 de la CC. NN. Canapishtea, con un área de 3518 hectáreas, distrito Tahuanía, Atalaya, Ucayali.

Muestra

Para estimar el Dap, altura comercial y volumen del tronco (variables respuestas) a partir del diámetro del tocón (variables predictivas), para las especies *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*, se evaluarán 3 parcelas (PC 10, 11 y 12) corresponde al Plan Operativo 08 de la CC. NN. Canapishtea, con un área de 3518 hectáreas, distrito Tahuanía, Atalaya, Ucayali; a estas especies se les evaluará y calculará las siguientes variables: Diámetro del tocón (Dtc), Diámetro a la altura del pecho (Dap), Altura comercial (H) y Volumen del tronco (V).

7.3. Descripción detallada de los métodos, uso de materiales, equipos o insumos.

a) Diseño de muestreo

Recolección de datos de árboles en pie.

Los datos de los diámetros a la altura del pecho (Dap) del fuste de cada árbol de las 3 especies a estudiar serán tomados de forma directa durante las actividades de censo en las 3 parcelas (PC 10, 11 y 12) corresponde al Plan Operativo 08 de la CC. NN. Canapishtea, con un área de 3518 hectáreas, distrito Tahuanía, Atalaya, Ucayali. La parcela será dividida por fajas, cuya separación entre ellas es de 100 m, como se muestra en la Figura 2. Estas fajas serán abiertas en campo para permitir una transitabilidad adecuada y se usarán para recorrer el 100 % del área de las PC.

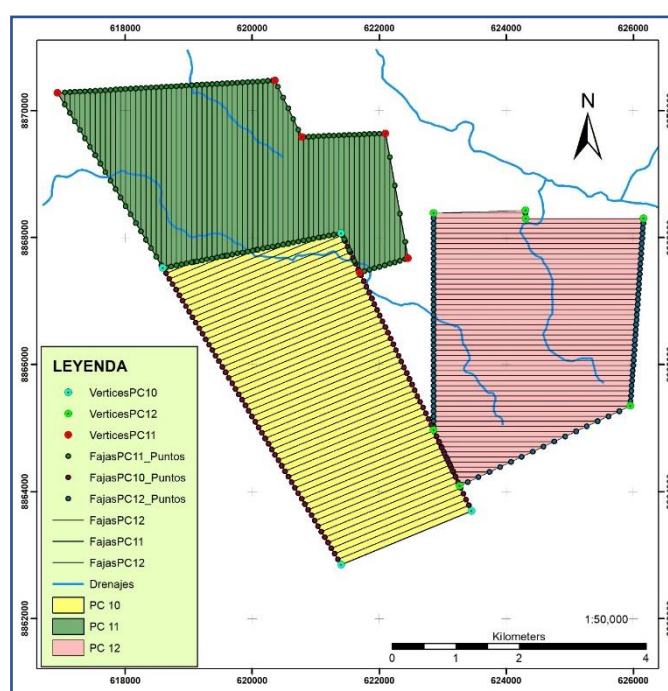


Figura 2: Distribución de las fajas dentro de la PC 10

La exploración del censo en campo iniciará con la delimitación y apertura del perímetro de la PC y se abrirá una trocha base a uno de los lados, definida a criterio en campo, ubicado de forma perpendicular a las fajas. Desde la faja uno, con la ayuda de dos materos, uno a cada lado de la faja, se comenzará a la ubicación de los árboles, los materos se desplazarán de forma zigzagueante, como se muestra en la Figura 3, este proceso se realizará de forma simultánea a la apertura de las fajas, según se vaya avanzando.

La información que se tomará para la realización de la investigación durante la realización del censo será: Numero de parcela, numero de faja, Numero de Árbol, Especie, Diámetro a la altura del pecho (Dap) y ubicación (coordenadas UTM “X” y “Y”).

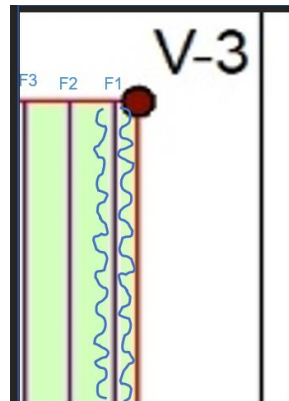


Figura 3: recorrido de los materos (línea zigzagueante azul)

Detalles de las variables que se tomarán en el censo:

- Diámetro a la altura del Pecho. – o el DAP, se tomará luego de realizar la limpieza respectiva de la zona del árbol a medir. Se procurará que la cinta diamétrica se disponga de forma perpendicular al eje del fuste, a 1.30 m del suelo.
- Identificación de árboles. – la identificación se hará en base a las características organolépticas que caracteriza a cada especie, como color, olor, corteza, hojas, etc., la identificación será responsabilidad de los materos.

Recolección de datos de los tocones y troncos.

Los datos de los troncos de los árboles serán tomados cuando estos sean talados y también se tomará el diámetro de los tocones; el proceso se detalla a continuación:

- Localización y marcado de los árboles. - los árboles serán localizados con un GPS Garmin Map 64s, teniendo como referencia las coordenadas UTM que se tomaron al momento de realizar el censo forestal.
- La tala. - después de ubicar los árboles a ser talados, se procederá a la tala, limpiando primero alrededor de cada árbol. Posteriormente, se harán trochas de escape por seguridad del personal ante la posibilidad de cualquier peligro que hubiera en ese momento. Después de la tala el fuste del árbol será codificado. Esta codificación estará constituida por el número de PC, faja y de árbol, escritas en placas de metal y clavados en las secciones transversales.

Detalles de las variables que se tomarán del tronco y del tocón:

- Medición del diámetro del tocón (Dt). – Luego de efectuar la tala, se medirá el diámetro del tocón en cruz como se muestra en la figura 4 (Dt1 y Dt2), para promediarlos y obtener el diámetro (Dt) y apuntarlos en la libreta.

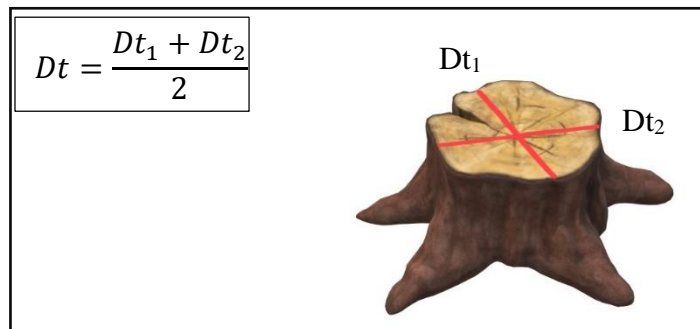


Figura 4: forma de tomar los diámetros del tocón

- Medición de diámetros del tronco. – cuando los árboles sean talados, se procederá a tomar las medidas del tronco utilizando una wincha, “D1” para el diámetro mayor y “D2” para el diámetro menor del tronco, estas dimensiones se muestran en la Figura 6. Sin embargo, las secciones transversales pocas veces son esféricas, más bien, tienen formas elípticas o simplemente deformes, por este motivo, se tomará dos medidas por lado en forma de cruz, uno por la parte más ancha “D” y otra por la más angosta “d”, como se muestra en la Figura 5, esas dos medidas serán promediadas in situ, dicho promedio serán las que se tomarán apunte en la libreta de campo como D1 o D2 según sea el caso. Estas medidas serán apuntadas junto al código asignado de la troza que se realizó en tala.

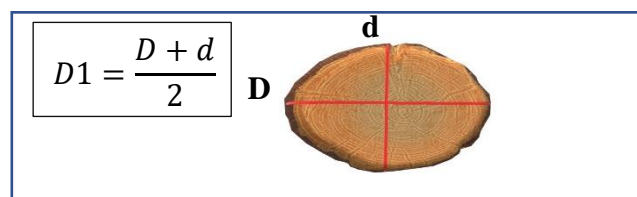


Figura 5: medidas a tomar en la sección transversal del tronco

- Altura aprovechable (H). – o longitud del tronco, es la medida del largo que se tomará con una cinta métrica desde un extremo a otro del tronco, como se muestra en la figura 6, esto se realizará posterior a la toma de los diámetros, apuntando su respectivo código.



Figura 6: dimensiones de la troza en patio

b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, insumos, entre otros.

Materiales	Herramientas	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Cinta de agua • Pilas Duracell • Libreta de campo • Útiles de escritorios (tablero, lápiz y otros). 	<ul style="list-style-type: none"> • Machete • Lima 	<ul style="list-style-type: none"> • Cinta diamétrica • Cinta métrica • Wincha • Laptop • GPS

b) Descripción de variables a ser analizados en el objetivo específico

Variables independientes (X_i):

- Especies
- Diámetro del tocón (Dt)

Variables dependientes (Y_i):

- Diámetro a la altura del pecho (Dap)
- Altura comercial (H)
- Volumen del tronco (V)

d) Aplicación de prueba estadística inferencial.

Determinación del volumen de los troncos.

El volumen se determinará con la fórmula Smalian de cubicación de trozas según (SERFOR, 2021):

$$V = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D1 + D2}{2} \right)^2 * l$$

Donde:

V = volumen en metros cúbicos de la sección

l = largo en metros de la sección

D1 = diámetro inferior o menor en metros de la sección

D2 = diámetro superior o mayor en metros de la sección

Modelos matemáticos de regresión y correlación.

Para la estimación del Dap, altura comercial (H) y volumen del tronco (V) a partir del diámetro del tocón (Dt) para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba* se realizarán los cálculos para cada especie de la misma manera. Sin embargo, las ecuaciones de regresión a evaluar serán según la tabla 2. Los modelos matemáticos propuestos para el trabajo de investigación son las siguientes (Diéguez, Barrio, Castedo, & Balboa, 2003) y (Martinez & Acosta, 2014).

Tabla 2: Ecuaciones de regresión

Relación	Modelo	Tipo de modelo
Dap - Dt	$Dap = a + b(Dt)$	Lineal
H - Dt	$H = a + b(Dt)$	Lineal
	$H = a + b(Dt) + c(Dt)^2$	Polinomial
	$H = a(Dt)^b$	Potencial
V - Dt	$V = a + b(Dt) + c(Dt)^2$	Polinomial
	$V = a(Dt)^b$	Potencial

Donde:

Dap = Diametro a la altura del pecho

Dt = Diametro del tocon

H = Altura del tronco o altura aprovechable

V = Volumen del tronco

a y b = Constantes

Cálculos para la ecuación de regresión.

Se ordenará los datos tomados en campo como se muestra en la tabla 3, en este se aprecia la relación Dap – Dt; se ordenara de igual manera para los análisis de las relaciones H - Dt y V – Dt.

Tabla 3: Datos para análisis de relación Dap - Dt

Código	Dt (x)	Dap (y)
--------	--------	---------

PC-F-A		
...		
Σ		
\bar{x}		

Para optimizar los cálculos y la determinación de las constantes (a , b , c) en cada una de las distintas ecuaciones se empleará el programa Microsoft EXCEL® 2019. Luego estas ecuaciones serán probadas con la determinación y análisis de: Coeficiente de determinación r^2 , Coeficiente de correlación r , error cuadrado medio s^2 , desviación estándar s , pruebas t de conformidad y análisis de residuales en función de x .

Coeficiente de determinación r^2 :

Luego de haber obtenido las ecuaciones se calculará el valor del coeficiente de determinación; con valores entre 0 y 1, nos manifestará en que porcentaje la función de regresión obtenida y $= f(x)$ nos explica la variación de y en función de x . La ecuación de r^2 según (Cardona, González, Rivera, & Cárdenas, 2013) es: $r^2 = \frac{\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}$

Donde:

\hat{y}_i = valor estimado de la variable dependiente para la i -ésima observación.

\bar{y} = promedio de los valores observado de la variable dependiente.

y_i = valor observado de la variable dependiente para la i -ésima observación.

Coeficiente de correlación r

Basado en la Covarianza y con valores entre -1 y +1, nos explicara la bondad del ajuste y el sentido de la evolución de la variable y en función de x (Anderson, Sweeney, & Williams, 2001).

$$r = \sqrt{\frac{\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\Sigma(y_i - \bar{y})^2}}$$

Error cuadrado medio s^2

$$s^2 = \frac{\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}$$

Desviación estándar o error típico s

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}$$

Prueba t de conformidad del coeficiente de correlación:

caso 1 "T" de student.

$H_0 : r = 0$

$$T_{obs} = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad T_{1-\alpha/2} \Rightarrow n-2gl$$

$$T_{obs} \geq T_{1-\alpha/2} \Rightarrow RHo$$

Caso 2 Tabla “J” se aplica cuando $n \leq 100$

$$|r| \geq r_{1-\alpha/2} \Rightarrow RHo$$

con. $n-2gl$

Prueba de conformidad de la ecuación de regresión:

$H_o : b > 0$

$$T_{obs} = |b| \sqrt{\frac{(n-2)SCx}{SCy - \frac{SPxy^2}{SCx}}} \quad T_{1-\alpha/2} \Rightarrow n-2gl$$

$$T_{obs} \geq T_{1-\alpha/2} \Rightarrow RHo$$

7.4. Tabla de recolección de datos por objetivos específicos.

Para la recolección de información necesaria en la elaboración de la investigación se utilizará la técnica cuantitativa de observación y medición de características, como el Diámetro del tocón (Dtc), Diámetro a la altura del pecho (Dap), Altura comercial (H) y Volumen del tronco (V), el cual consistirá en tomar las medidas de los árboles en pie y posterior a la tala, del tocón y de los troncos del árbol.

Los instrumentos para la recolección de datos serán diarios de campos, en el cual se apuntarán los datos observados y medidos de cada árbol o troza. Para la información de árboles en pie se usará el formato como se muestra en la tabla 4, y para la información de los troncos se usará el formato como se muestra en la tabla 5.

Tabla 4: Formato para datos de árboles en pie

Parcela	N° Faja	N° Árbol	Especie	DAP (m)

Tabla 5: Formato para datos de tocones y tronco del árbol

Parcela	N° Faja	N° Árbol	Especie	Diámetro del tocón (cm)	Diámetro mayor (m)	Diámetro menor (m)	Altura comercial

VIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	MESES					
	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE
Elaboración del proyecto.	X					
Revisión bibliográfica		X				
Preparación de las técnicas e instrumentos			X			
Recolección de datos			X			
Procesamiento de los datos			X			
Análisis e interpretación de los resultados				X		
Elaboración del informe final					X	
Sustentación						X

IX. PRESUPUESTO

Presupuesto del proyecto de investigación

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO S/	TOTAL S/
1	Pasajes	Unidad	3	100	300
2	Alquiler de GPS	Día	20	30	600
3	Cinta diamétrica	Unidad	2	100	200
4	Botiquín	Unidad	1	100	100
5	Ayudante	Día	40	30	1200
6	Viáticos	Día	50	30	1500
7	Materiales de gabinete			200	200
8	Responsable	Día	30	30	900
TOTAL					5000

El proyecto de investigación será financiado en su totalidad con recursos propios.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2001). *Estadística para administración y economía (7a ed., Vol. II)*. México: Thomson.
- Aróstogui, A. (1982). Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Documento de trabajo N° 2. Proyecto FAO/PER/81/002. . *Ministerio de Agricultura. Perú.*, 122.

- Barrio, M., Álvarez, J., Díaz, I., & López, C. (2004). Relación altura diámetro generalizada para *Quercus robur* L. en Galicia. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 18, 141-146.
- Bava, J., & López, B. (2006). Predicción del diámetro a la altura de pecho en función de las dimensiones del tocón de árboles de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego. *Quebracho*, 87-92.
- Benitez, J., Rivero, M., vidal, A., Rodriguez, J., & Alvarez, R. (2004). ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO NORMAL A PARTIR DEL DIÁMETRO DEL TOCÓN EN PLANTACIONES DE *Casuarina equisetifolia* Forst. DE LA PROVINCIA CAMAGÜEY, CUBA. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25-30.
- Cardona, D., González, J., Rivera, M., & Cárdenas, E. (2013). DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN. Inferencia estadística. Módulo de regresión lineal simple. *Universidad del Rosario. Facultad de Administración*, 60.
- Castañeda, F., & Cortés, L. (1984). Determinación del Diámetro Altura de Pecho a partir del Diametro del Tocon de dos especies de Pino en Olancho Honduras. *Zamorano*, 164-172.
- Corral, J., Barrio, M., Aguirre, O., & Diéguez, U. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto. *Durango (México). Forestry*, 80(1), 29-40.
- Cruz, R. (2016). Modelos de Altura - Diámetro y de Diámetro normal - Diámetro del tocon para *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* en la región de Chignahuapan - Zacatlán, Puebla. *Universidad Autónoma chapingo. Tesis de Maestria*, 87.
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., & Balboa, M. (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 131-139.
- Filio, A. (2010). Estimación del diámetro normal y volumen comercial a partir del diámetro y altura de tocones en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill – Huanchar – Valle del Mantaro. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ. TESIS INGENIERIA FORESTAL*, 82.
- Flores, E. (2016). ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA PREDICCIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS Y CÁLCULO DE VOLUMEN EN *Pinus pseudostrobus* EN EL SUR DE NUEVO LEÓN. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES*, 62.
- Flores, Y. (2018). Árboles nativos de la Región Ucayali. *Estación Experimental Agraria Pucallpa. Pucallpa, Perú.*, 375.
- García, X., Hernández, J., García, J., Hernández, A., Herrera, V., Gonzáles, A., & Garfías, E. (2017). Predicción de diámetro normal, altura y volumen de *Abies religiosa* a partir del diámetro del tocón. *Madera y Bosques*, 61-70.
- García, X., Hernández, J., Hernández, A., Quiñones, G., Tamarit, J., & García, G. (2017). Predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón en especies tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 43-71.
- García, X., Herrera, V., Hernández, J., García, J., & Hernández, A. (2016). Ecuaciones para predecir el diámetro normal en función del diámetro del tocón para *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 95-103.
- Hernández, R., García, E., García, M., García, C., Hernández, R., & Balmaceda, V. (2014). ECUACIONES PARA ESTIMAR EL DIÁMETRO NORMAL EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL TOCÓN PARA *Pinus Montezumane* Lamb. EN NUEVO SAN JUAN PARANGARICUTIRO, MICHOACÁN. *XXVI REUNIÓN CIENTÍFICA-TECNOLÓGICA FORESTAL Y AGROPECUARIA TABASCO 2014 Y III SIMPOSIO INTERNACIONAL EN ODUCCIÓN AGROALIMENTARIA TROPICAL, 6 Y 7 DE NOVIEMBRE, VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO*, 497-504.

- IBM. (23 de Enero de 2022). *Regresión no lineal*. Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/SaaS?topic=regression-nonlinear>
- Jenkins, J., Chojnacky, D., Heath, L., & Birdse, R. (2004). Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species. *Gen. Tech.*, 45-52.
- Juárez, Y. (2004). *Dasometría. Apuntes de Clase y Guia de Actividades Practicas*. Cochabamba: Bolivia.
- Kees, S., & Gómez, C. (2013). Estimación del diámetro normal y volumen de fuste a partir del diámetro de tocón en forestaciones con *Prosopis alba* Griseb. en la provincia del Chaco. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 52-62.
- Lopera, C. (2002). Análisis de residuales. *Universidad Nacional de*, 110.
- Martínez, J., & Acosta, A. (2014). Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 59-70.
- Mendoza, J. (2014). Estimación del diámetro normal, altura y volumen a partir del tocón para *Swietenia macrophylla* King (Caoba) y *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. B. (Tzalam) en el sur de Quintana Roo. *Instituto Tecnológico de la Zona Maya*, 20.
- Newnham, R. (1964). The development of a stand model for Douglas fir. PhD Thesis. *Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver*, 201.
- Parrado, A. (2007). Distribución espacial de semillas y plántulas de dos especies de árboles tropicales: ¿hay correspondencia entre los patrones? *Revista Colombia Forestal*, 10 (20): 5-21.
- Peña, A. (1992). FUNCION DE VOLUMEN Y ALTURA / DIAMETRO PARA MONTE BAJO DE *Eucalyptus globulus* EN LA PROVINCIA DE LIMARI, IV REGION. *Ciencia e Investigación Forestal*, 127.
- Picos, J., & Cogolludo, M. (2008). Apuntes de Dasometría. *Pontavedra, España: _ Escola Universitaria de Exeñería Técnica Forestal-Universidad de Vigo.*, 63.
- Pompa, M., Santos, H., Marcelo, Z., & Corral, J. (2011). UN MODELO DENDROMÉTRICO PARA ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO NORMAL A PARTIR DE LAS DIMENSIONES DEL TOCÓN. *Agrociencia*, 379-387.
- Procopio, L. (2004). Dendrología de especies comercializadas como "tauari" (*Cariniana* spp. e *Couratari* spp. *Lecythidaceae*) no Estado do Pará: Una ferramenta para o manejo florestal. . *Tesis Maestría en Sistemática y Evolución de Plantas. Universidades Federal Rural da Amazônia. Belem, Brasil.* , 84 p.
- Prodan, M. (1968). *Forest biometrics*. . Oxford: Pergamon.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura forestal. Serie de investigación y evaluación en desarrollo sostenible*. San José: Costa Rica: IICA, GTZ.
- Quiñónez, G., Cruz, F., Vargas, B., & Hernandez, F. (2009). ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO, ALTURA Y VOLUMEN A PARTIR DEL TOCÓN PARA PINÁCEAS EN DURANGO, MÉXICO. *IX Congreso Mexicano de Recursos Forestales*, 77-94.
- Rueda, A., García, D., Benavides, J., Sáenz, J., Castillo, D., & García, G. (2020). Tablas de volumen para *Tectona grandis* L.f. en plantaciones del centro-occidente de México. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 16.
- Salvador, M. (2012). Metodos estadisticos CAPITULO VIII. *Universidad Nacional de Ucayali.* , 14-20.
- SERFOR. (26 de Enero de 2021). *GUÍA PRÁCTICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y USO DE LOS LIBROS DE OPERACIONES PARA TÍTULOS HABILITANTES*. Obtenido de Trazabilidad: <http://www.serfor.gob.pe/fortalecimientodecapacidades/wp-content/uploads/2019/08/guiaLibroOTH.pdf>
- Silva, C., & Salinas, M. (2006). Modelos de Regresión y Correlación. . *Ciencia & Trabajo.Año 8. Número 22.*, 185-189.

- Spichiger, R., Meroz, J., Loizeau, P., & Ortega, L. (1989). Contribución a la flora de la Amazonia Peruana, los árboles del Arboretum Jenaro Herrera. *Conservatoire et Jardin Botaniques de Geneve*, V.1, 359 p.; V. 2, 565 p.
- Stafleu, F. (1948). Una monografía de las Vochysiaceae. I. Salvertia y Vochysia. *Recueil des travaux botaniques néerlandais.*, 41 (2), 501-502.
- Telles, R., Gómez, M., Alanís, E., Aguirre, O., & Jiménez, J. (2018). Ajuste y selección de modelos matemáticos para predecir el volumen fustal de *Tectona grandis* L. f. en Nuevo Urecho, Michoacán, México. *Madera y Bosques*, 12.
- Williams, J., Johnson, A., LePage, B., Van, D., & Taylor, K. (2003). Reconstruction of tertiary metasequoia forests. I. Test of a method for biomass determination based on stem dimensions. *Paleobiology*, 29 (2):256-270.
- Zarate, J. (2021). Determinación de un modelo de árbol de la especie algarrobo (*Prosopis pallida*) y proyección de volumen aprovechado de la manera ilegal en la concesión de la universidad nacional de Tumbes. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. TUMBES – PERÚ*, 91.

XI. ANEXO

“Estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para *Allantoma decandra*, *Brosimum utile* y *Vochysia biloba*”.

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIACIÓN	INDICADORES	INDICES
<p>General: ¿Se podrá realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>?</p> <p>Específicos:</p> <p>¿Se podrá realizar la estimación del Dap a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>?</p> <p>¿Se podrá realizar la estimación de la altura comercial a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>?</p> <p>¿Se podrá realizar la estimación del volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>?</p>	<p>General: realizar la estimación del Dap, altura comercial y volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>.</p> <p>Específicos:</p> <p>Realizar la estimación del Dap, a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>.</p> <p>Realizar la estimación de la altura comercial a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>.</p> <p>Realizar la estimación del volumen del tronco a partir del diámetro del tocón para <i>Allantoma decandra</i>, <i>Brosimum utile</i> y <i>Vochysia biloba</i>.</p>	<p>General:</p> <p>Estadística Correlacional</p> <p>H0: $r_{xy} = 0$ No existe relación entre las variables predictivas (Dt) con la variable respuestas (Dap, h y V).</p> <p>H1: $r_{xy} > 0$ Existe relación entre las variables predictivas (Dt) con la variable respuestas (Dap, h y V)</p>	<p>INDEPENDIENTES (X)</p> <p>Variables cualitativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Especies. <p>Variables cuantitativas predictoras:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diámetro del tocón (Dt) <p>DEPENDIENTES (Y):</p> <p>Variables respuestas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Diámetro a la altura del pecho (Dap) Altura comercial (H) Volumen del tronco (V) 	<ul style="list-style-type: none"> Cachimbo rojo Camungo moena Panguana Longitud en metros Longitud en metros Longitud en metros Volumen en m³ 	<p>Árbol</p> <p>Árbol</p> <p>Arbol</p>