

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**“MEJORAS PREDICTIVAS EN LA RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN DEL FUSTE Y EL
DIÁMETRO DEL TOCÓN DE *Cedrelinga cateniformis* Ducke EN MARISCAL CÁCERES -
SAN MARTÍN”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

DEIBER TARRILLO ALARCÓN

ASESOR

M. Sc. ING. VITOLY BECERRA MONTALVO

JAÉN – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

Tarrillo Alarcón Deiber

DNI: 72307640

Escuela Profesional/Unidad UNC:

Ingeniería Forestal

2. Asesor:

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo

Facultad/Unidad UNC:

Ingeniería Forestal

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Título de Trabajo de Investigación: "Mejoras predictivas en la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en Mariscal Cáceres - San Martín"

5.

6. Fecha de evaluación: 27/01/2025

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 9 %

9. Código Documento: oid: 3117:423970065

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 27/01/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
DNI: 27727452



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **veinte** días del mes de **diciembre** del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 307- 2024-FCA-UNC, de fecha 17 de julio 2024, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"MEJORAS PREDICTIVAS EN LA RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN DEL FUSTE Y EL DIÁMETRO DEL TOCÓN DE *Cedrelinga cateniformis* Ducke EN MARISCAL CÁCERES - SAN MARTÍN"** ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don DEIBER TARRILLO ALARCÓN**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **dieciséis** horas y **treinta** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **diecisiete** horas y **veinte** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 20 de diciembre de 2024.

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores
VOCAL

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en mi Camino y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi querido padre Rocendo Tarrillo Torres y mi adorable madre María Maifa Alarcón Vásquez, quienes son el pilar fundamental de lo que soy, son ellos el mayor apoyo incondicional que recibo, razón para seguir adelante y ser el orgullo de ellos, quienes, además, me han inculcado valores que hoy en día me dio fortaleza y los ms sabios consejos para mi formación como profesional, logrando cumplir la promesa de esta anhelada meta.

A mis hermanas, Ana Cecilia Salazar Alarcón y Lucy Tarrillo Alarcón, que siempre fueron el mejor ejemplo y motivación de seguir adelante y ser parte fundamental en la formación académica y su apoyo incondicional en concretar mis objetivos.

Deiber

AGRADECIMIENTO

A Dios: Por la Gran bendición, de dejarme culminar esta investigación.

De una manera muy especial a mi asesor, M. Sc. Ing. Vitoly Becerra Montalvo, por brindarme en todo momento el asesoramiento correspondiente y el apoyo en poder concertar la investigación.

Al Ing. Willan Nolver Silva Silva Compañero de trabajo, por su apoyo brindado para desarrollar esta presente investigación.

A mis padres por siempre estar de mi lado en los buenos y malos momentos tiempos así mismo tengo que agradecer a mis hermanas por su apoyo incondicional.

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Deiber

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRAC	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Antecedentes de la investigación	13
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. Descripción de la especie de <i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke	14
2.2.2. Manejo forestal sostenible en la especie de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	15
2.2.3. Métodos convencionales de medición del volumen	16
2.2.4. Definición del tocón del árbol	17
2.2.5. Importancia de la relación entre el volumen y diámetro del tocón	17
2.2.6. Importancia de la relación entre el diámetro a la altura del pecho y el diámetro del tocón	17
2.2.7. Redes neuronales artificiales en la ingeniería forestal	18
2.3. Definición de términos básicos	24
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.1. Ubicación política de la Concesión	27
3.1.2. Ubicación geográfica de la Concesión	29
3.1.3. Ubicación y extensión de las Parcelas de Corta	29
3.1.4. Hidrografía y fisiografía	29
3.2. Tipo y diseño de investigación	30
3.2.1. Unidad de análisis	30
3.2.2. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.2.3. Validación y prueba de confiabilidad	30
3.2.4. Procedimiento de la investigación	30
3.2.5. Aspectos éticos para considerar	35
3.2.6. Presentación de información	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Análisis de los datos	37
4.1.1. Análisis del Inventario Forestal	37
4.1.2. Análisis de Consistencia de Datos del Trozado Forestal	38
4.2. Análisis de índice de competencia	42

4.3.	Descripción de los datos climáticos	47
4.4.	Análisis de Modelamiento	49
4.4.1.	Análisis del Modelo Potencial	49
4.4.2.	Análisis de las Redes Neuronales Artificiales	52
4.4.3.	Análisis comparativo de las predicciones por el modelo potencial y las redes neuronales artificiales	55
4.5.	Discusión	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
5.1.	Conclusiones	61
5.2.	Recomendaciones	62
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		63
CAPÍTULO VII: ANEXO		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ubicación política de la concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03	27
Tabla 2	Coordenadas UTM de la concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03	28
Tabla 3	Área y ubicación de las parcelas de Corta	28
Tabla 4	Características dendrometrías promedio de especies arbórea encontradas en la base de datos de la concesión 1	37
Tabla 5	Características dendrometrías promedio de especies arbórea encontradas en la base de datos de la concesión 2	38
Tabla 6	Análisis estadístico del diámetro del tocón y volumen de datos recopilados en la base de datos de la concesión 1	39
Tabla 7	Análisis estadístico del diámetro del tocón y volumen de datos recopilados en la base de datos de la concesión 2	40
Tabla 8	Tabla 8. Análisis de índices de competición entre especies arbóreas en la base de datos de la concesión 1	43
Tabla 9	Análisis de índices de competición entre especies arbóreas en la base de datos de la concesión 2	45
Tabla 10	Registro mensual y anual de condiciones climáticas en el área de la concesión 1	47
Tabla 11	Registro mensual y anual de condiciones climáticas en el área de la concesión 2	48
Tabla 12	Comparación de los indicadores estadísticos de la estimación y la predicción del modelo de regresión potencial	50
Tabla 13	Desempeño de los indicadores estadísticos de 30 modelos de redes neuronales artificiales en predicciones de volumen de árboles	54
Tabla 14	Comparación del desempeño de los indicadores estadísticos entre modelos de redes neuronales artificiales y modelo potencial en predicciones de volumen de árboles	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de ubicación de la concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03	28
Figura 2	Implementación de la estrategia de validación para evaluar el desempeño estadístico del modelo desarrollado por la concesión 1	33
Figura 3	Dispersión de la ración del diámetro del tocón y el volumen provenientes de la base de datos de la concesión 1 y concesión 2	42
Figura 4	Mapa de dispersión de las especies en el entorno de la concesión 1	44
Figura 5	Mapa de dispersión de las especies en el entorno de la concesión 2	46
Figura 6	Relación entre el diámetro del tocón y el volumen con su línea de tendencia potencial de la base de datos de la concesión 1	49
Figura 7	Correlación entre el volumen observado y estimado, base de datos de la concesión 1 y 2	51
Figura 8	Distribución de las clases de error para los valores estimados y predictivos del modelo potencial	52
Figura 9	Distribución de las clases de error para los valores predictivos de la red neuronal artificial seleccionada y el modelo potencial	57

RESUMEN

El objetivo del estudio fue mejorar las predicciones sobre la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke en Mariscal Cáceres - San Martín. Se realizó una investigación con dos fases. En la primera, se empleó un modelo potencial con datos de dos concesiones forestales, utilizando una para estimación y otra para validación. En la segunda fase, se aplicaron técnicas de redes neuronales artificiales (RNA) integrando datos climáticos e índices de competencia para mejorar las predicciones. Se exploraron múltiples algoritmos y combinaciones de variables, generando 30 modelos de RNA. El mejor modelo de RNA (RNA26) se comparó con el modelo potencial, mostrando que, este último tenía una correlación ligeramente superior y un error relativo más bajo, el RNA26 genera mayor proporción de predicciones precisas en la clase de error de 0%, por lo que RNA ofrece predicciones más cercanas a la realidad. Se demostró la utilidad de las RNA al incorporar diversas variables. Se concluyó que la inclusión de variables dasométricas, climáticas e índices de competencia en el desarrollo de redes neuronales permitió capturar una gama más amplia de factores influyentes en la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón del Tornillo. Se sugiere la implementación de un monitoreo continuo de diversas variables, como las dendrométricas, climáticas, edáficas y topográficas, esencial para comprender las complejas interrelaciones en los ecosistemas forestales.

Palabras clave: Redes neuronales artificiales, volumen, diámetro del tocón, validación predictiva.

ABSTRAC

The objective of the study was to improve predictions on the relationship between stem volume and stump diameter of *Cedrelinga cateniformis* Ducke in Mariscal Cáceres - San Martín. A two- phase investigation was carried out. In the first, a potential model was used with data from two forest concessions, using one for estimation and the other for validation. In the second phase, artificial neural network (ANN) techniques were applied, integrating climatic data and competition indices to improve predictions. Multiple algorithms and combinations of variables were explored, generating 30 ANN models. The best ANN model (ANN26) was compared with the potential model, showing that, the latter had slightly higher correlation and lower relative error, ANN26 generates higher proportion of accurate predictions in the 0% error class, thus ANN provides predictions closer to reality. The usefulness of ANN was demonstrated by incorporating several variables. It was concluded that the inclusion of dasometric, climatic and competition index variables in the development of neural networks allowed capturing a wider range of influential factors in the relationship between stem volume and stump diameter of Tornillo. It is suggested the implementation of a continuous monitoring of several variables, such as dendrometric, climatic, edaphic and topographic variables, essential to understand the complex interrelationships in forest ecosystems.

Keywords: Artificial neural networks, volume, stump diameter, predictive validation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de modelamiento forestal, los investigadores manejan los términos de estimaciones, predicciones, pronosticaciones y proyecciones. Estos cuatro términos a veces son utilizados en un lenguaje no técnico como iguales; sin embargo, existen amplia diferencia en entre ellos. Una estimación representa el estado actual de un individuo o población forestal, una predicción representa el estado actual de un individuo o población forestal que no representa la proveniencia de los datos, un pronóstico representa un estado aleatorio a grandes rasgos de un individuo o población forestal y una proyección representa un estado futuro de un individuo o población forestal (Campos & Leite, 2017; Goycochea Casas, 2021). Otros autores definen a la predicción como el cambio de tamaño de un individuo o población a lo largo del tiempo (Burkhardt & Tomé, 2012; Castro et al., 2013). Cabe mencionar que un mismo modelo matemático se puede utilizar para estimar y predecir mas no para proyectar. Para identificar un modelo de proyección, se tienen que observar que el modelo debe presentar como variable independiente a la variable dependiente futura, un ejemplo claro es el modelo de Clutter, que es un modelo explícitamente para proyecciones (Casas Fardin et al., 2022).

La aplicación de modelos matemáticos al campo forestal se viene dando desde los años 60 hasta la actualidad; sin embargo, su aplicación como modelo predictivo es un enfoque de estudio y desafiante para los investigadores, por el simple hecho de que los bosques representan una estructura super compleja por la gran cantidad de variables interconectadas entre ellos mismos. Por ejemplo, el modelo de Schumacher y Hall $LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \beta_2 LnH + e$; es uno de los modelos más aplicados para estimaciones volumétricas (Schumacher & Hall, 1933). Este modelo establece una relación entre el volumen (V), diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del árbol (H), es decir $V = f(DAP, H)$. En el modelo se observa que utiliza como variables independientes a las variables mensurables o dasométricas de un árbol, que ciertamente es la relación más importante y representativa del volumen de un árbol, pero si el modelo se aplicaría como modelo predictivo, se estaría asumiendo que un estado de un bosque es la misma para otro estado de bosque. Esta consideración en la práctica no es lo mismo y más aún si se considera un bosque primario.

Así como el modelo de Schumacher y Hall (1993), la gran mayoría de los modelos aplicados en el campo forestal solo consideran variables dasométricas, de esta manera su correcta

utilidad para estimaciones más que para predicciones, lo que perjudica su amplitud y aplicación del modelo.

Otro ejemplo notable es el modelo potencial, ampliamente empleado en la modelación forestal debido a que la relación entre el diámetro y el volumen de un árbol se expresa matemáticamente mediante la fórmula $V = \beta_0 DAP^{\beta_1}$ (Campos & Leite, 2017; S). Este modelo simplifica las variables dasométricas a un solo parámetro, el diámetro, lo que conlleva ventajas y desventajas en su aplicación. Una de las ventajas es la facilidad de medir el diámetro de un árbol; sin embargo, su utilidad en el modelado se limita a estimaciones exclusivas para el individuo medido, ya que, en la práctica al utilizarlo como un modelo de predicción, surge ciertas violaciones de las suposiciones estadísticas, siendo engañosas y tendenciosas, que perjudican al modelador para tomar decisiones.

Según el Informe de Evaluación de Recursos Forestales Mundiales, en el Perú se ha reducido en un preocupante 56.51 % el área boscosa de su superficie terrestre, alcanzando 1719.43 (1000 ha) entre 2010 y 2020 (SERFOR, 2020). Los bosques primarios en este país enfrentan anualmente niveles alarmantes de pérdida de cobertura boscosa debido a la deforestación, siendo el año 2021 testigo de la tasa más alta en las últimas dos décadas (Sierra Praeli, 2021). Ante esta grave situación, surge la consideración del uso del modelo potencial como una opción para predecir la pérdida de volumen debido a los cortes ilegales, dado que en estos casos apenas se encuentran registros de diámetros de tocones en el campo. Este modelo se basa exclusivamente en el diámetro, el cual podría ser sustituido por el diámetro del tocón de un árbol. No obstante, sirve como fundamento para la implementación de otras técnicas que incorporan múltiples variables, permitiendo una predicción más completa y precisa de un ecosistema boscoso.

Diversos investigadores están trabajando para resolver problemas de predicciones, estableciendo relaciones entre variables coherentes a las existentes de un bosque. Una alternativa es establecer modelamiento no solo considerando variables dasométricas, sino también variables externas o abióticas, tales como climáticas, edáficas, índices de competencia, índices de diversidad, altitudes, entre otros, en que utilizar técnicas de regresión es demasiado complejo, conllevando a utilizar otras técnicas de modelamiento tal como las redes neuronales artificiales.

Las variables abióticas son importantes porque pueden influir significativamente en el

crecimiento y la supervivencia de los árboles en los ecosistemas forestales. Por ejemplo, los cambios en la radiación solar pueden alterar el crecimiento y la distribución de diferentes especies de árboles. Sin embargo, cuantificar el efecto de estas variables mediante métodos de campo directos puede ser laborioso y consumir mucho tiempo, por lo que el desarrollo de modelos analíticos y predictivos, como el modelo de red neuronal artificial, es una alternativa para la integración de diversas variables a un modelo (Bayat et al., 2019).

El presente trabajo, se estableció una relación entre volumen y el diámetro del tocón en la especie de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke en un bosque primario, en que se aplicó la técnica de modelamiento de redes neuronales artificiales con inclusión de variables dasométricas, climáticas e índice de competición, con el fin de mejorar las predicciones y establecer datos para un manejo forestal sustentable.

Las hipótesis que se plantearon fueron: Hipótesis nula, Las predicciones volumétricas son mejoradas en relación con el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke mediante la consideración de las variables climáticas e índices de competición en Mariscal Cáceres, San Martín. Hipótesis alternativa, Las predicciones volumétricas no son mejoradas en relación con el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke mediante la consideración de las variables climáticas e índices de competición en Mariscal Cáceres, San Martín.

El objetivo general fue Mejorar las predicciones en la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke en Mariscal Cáceres -San Martín. Mientras que los objetivos específicos fueron: Realizar un análisis del Inventario Forestal para identificar tendencias y patrones en la distribución de especies y densidades poblacionales del bosque. Examinar el índice de competición entre especies vegetales en el área de estudio para comprender las relaciones competitivas entre ellas. Determinar los algoritmos utilizados para optimización de la red neuronal que se puedan ajustar en la relación del volumen y diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke en Mariscal Cáceres -San Martín. Evaluar y analizar la eficacia del Modelo Potencial y las Redes Neuronales Artificiales en la predicción de variables forestales clave, realizando un análisis comparativo entre las predicciones generadas por ambos modelos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Un estudio reciente se mantiene centrado en la relación entre el diámetro del tocón y el volumen (Hung et al., 2021), en este caso para árboles de acacia, en que los autores establecieron una serie de modelos muy conocidos en la literatura, tales como una relación lineal, logarítmica, inversa, cuadrática, cúbica, exponencial, potencial, etc., llegando a la conclusión que la función potencial, $V = \beta_0 * DT^{\beta_1}$, es el mejor modelo para simular la relación entre el DT y el V , así mismo como mejor modelo para las predicciones volumétricas.

Otro estudio realizó la predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón, estableciendo modelos matemáticos lineales y no lineales para ocho especies forestales con el fin del control y supervisión del manejo forestal para cuantificar cortas clandestinas. Los modelos empleados mostraron buenos estimadores estadísticos indicando que fueron válidos para las predicciones (Cuevas et al., 2017).

Investigadores también establecen una relación alométrica entre la altura total y el diámetro normal de *Bursera simaruba*, en que los autores manifiestan que las relaciones empleadas en su estudio podrán ser empleadas para evaluar cortas clandestinas cuando el único dato posible de medir es el diámetro de tocón, siendo como variable independiente de la relación del modelo empleado (Hernández-Ramos et al., 2018).

También existe estudios realizados utilizando redes neuronales artificiales para modelar la relación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el diámetro del tocón. Al comparar con un modelo de regresión, el R^2_{adj} con aumentó de 0,7377 %. Los autores concluyen la técnica aplicada es una alternativa de modelado para que los administradores forestales predigan la información requerida sobre DAP para el manejo de los bosques (Şenyurt et al., 2020).

Un estudio destaca la importancia de los factores bióticos y abióticos en la determinación de la probabilidad de supervivencia de los árboles. Al comprender la relación entre estos factores y la supervivencia de los árboles, los gestores forestales pueden desarrollar estrategias más eficaces para el manejo forestal sostenible, como el aclareo para reducir la competencia y mejorar las condiciones de crecimiento. Además, el uso de redes neuronales artificiales proporciona una herramienta poderosa para predecir la supervivencia y mortalidad de los

árboles, lo que puede ayudar a informar las decisiones de manejo forestal y mejorar la salud y productividad a largo plazo de los ecosistemas forestales (Bayat et al., 2019; Rocha et al., 2018).

Un estudio realizó mediciones del diámetro y altura del tocón para emplear un modelo matemático para la especie del algarrobo (*Prosopis pallida*) con el fin de proyectar el volumen aprovechado de la madera ilegal en la concesión de la Universidad de Tumbes. El modelo adecuado fue el potencial con un coeficiente de determinación mayor al 90 % (Zarate, 2021).

En un estudio reciente, destacaron la importancia de las variables climáticas para comprender el crecimiento y desarrollo de *Guazuma crinita* Mart. en la Amazonía peruana. El estudio utilizó variables agroclimáticas para analizar la relación entre el crecimiento de la especie y las condiciones climáticas de la región. Las variables incluyeron presión superficial, temperatura, humedad, velocidad del viento, humedad del suelo y precipitación. Los resultados del estudio pueden utilizarse para mejorar las prácticas de manejo forestal e informar los esfuerzos de conservación en la Amazonía peruana y otras regiones con condiciones ecológicas similares. El estudio también destaca la importancia de comprender las complejas interacciones entre los árboles y su entorno climático para una gestión forestal sostenible. La importancia de esta investigación radica en su contribución al desarrollo de modelos precisos y eficientes para el manejo y conservación forestal. Los modelos desarrollados en esta investigación pueden servir como herramientas valiosas para los gestores forestales, ayudándoles a tomar decisiones informadas que promuevan el crecimiento y la supervivencia de *Guazuma crinita* Mart. en la Amazonía peruana (Casas et al., 2022).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción de la especie de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke

Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke, conocida popularmente como Chuncho o Tornillo, es un árbol emblemático de la región amazónica, encontrándose en países como Ecuador, Perú y posiblemente en otras áreas de la cuenca amazónica. Esta especie arbórea no solo es de interés en la industria forestal por la calidad de su madera, sino también en sistemas agroforestales debido a su potencial para el desarrollo sostenible de la región. De hecho, ha sido objeto de diversos estudios de modelamiento de crecimiento en plantaciones en la región amazónica, destacando así su importancia tanto económica como ecológica (Baluarte-Vásquez & Alvarez-Gonzales, 2015).

Desde el punto de vista *taxonómico*, *Cedrelinga cateniformis* pertenece al Reino Plantae, la División Magnoliophyta, la Clase Magnoliopsida, el Orden Fabales, la Familia Fabaceae y la Subfamilia Mimosoideae. Esta especie se caracteriza por su robustez y majestuosidad, alcanzando alturas de hasta 40 metros y un diámetro de tronco de hasta 1,8 metros. Su tronco recto y cilíndrico, así como su corteza grisácea y fisurada, son rasgos distintivos. En cuanto a su distribución, se encuentra en hábitats específicos como los bosques húmedos tropicales de tierras bajas hasta los 750 metros de altitud. Prefiere suelos arcillosos y bien drenados, siendo común encontrarlo en riberas de ríos y zonas pantanosas (Missouri Botanical Garden, 2024). En el Perú, se distribuye en altitudes que van desde los 120 hasta los 800 metros sobre el nivel del mar. Se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas, con temperaturas que oscilan entre los 15 °C y los 38 °C, y niveles de precipitación que van desde 2 500 mm hasta 3 800 mm. Este árbol se encuentra típicamente en bosques primarios y en suelos arcillosos de carácter ácido (Campos, 2009).

La madera de *Cedrelinga cateniformis* es altamente valorada por su calidad, presentando un color marrón claro, una textura fina y una buena resistencia. Esta madera se emplea en la construcción, la fabricación de muebles, instrumentos musicales, entre otros usos. Además, la especie tiene aplicaciones medicinales, utilizando la corteza y las hojas para tratar diversas enfermedades, así como en la extracción de alcanfor a partir de su corteza (Vásquez, 2023).

En plántulas de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) para determinar su efecto en el crecimiento, sobrevivencia y estado fitosanitario en un vivero, el tratamiento más efectivo consistía en tierra agrícola más una dosis de superfosfato triple, demostrando un mayor crecimiento en diámetro y altura en comparación con el grupo de control. Además, a menor dosis de fertilizante, la sobrevivencia de las plántulas fue mayor, sugiriendo que dosis más altas de superfosfato triple pueden resultar en una mayor mortalidad de las plántulas (Vásquez, 2023).

2.2.2. Manejo forestal sostenible en la especie de Cedrelinga cateniformis

La historia del manejo de *Cedrelinga cateniformis* se remonta a la época precolombina, cuando los pueblos indígenas utilizaban su madera para la construcción de viviendas, herramientas y otros objetos. En la época colonial, la explotación de *Cedrelinga cateniformis* se intensificó para la producción de madera aserrada y muebles. Sin embargo, esta explotación no se basaba en criterios de sostenibilidad, lo que llevó a la deforestación y degradación de los bosques amazónicos. A partir de la década de 1970, comenzó a surgir la

preocupación por la sostenibilidad del manejo forestal. En este contexto, se iniciaron proyectos piloto de manejo forestal sostenible (MFS) en *Cedrelinga cateniformis*. Según el modelo bioeconómico de Manejo Forestal Sostenible (MFS) de tiempo discreto, una herramienta de planificación que considera aspectos biológicos y económicos para el manejo forestal sostenible (MFS) se determina que para la *Cedrelinga cateniformis* el aprovechamiento óptimo para maximizar los beneficios económicos se realiza en un ciclo de 25 años. Esto resulta en beneficios económicos de 513.95 USD por hectárea en un período de planificación de 50 años (Castellanos & Marco, 2023).

La *Cedrelinga cateniformis*, experimenta un aumento promedio de 1 cm en su diámetro a la altura del pecho (DAP) por año (Baluarte-Vásquez & Alvarez-Gonzales, 2015), alcanzando su máximo volumen comercial entre los 90 y 100 cm de diámetro en aproximadamente 80 años. Esta especie exhibe tasas de crecimiento superiores a otras especies nativas, llegando al diámetro mínimo de corte de 50 cm a una edad media de 61 años (Brienen & Zuidema, 2006).

2.2.3. Métodos convencionales de medición del volumen

Los métodos convencionales para medir el volumen de un árbol se dividen en dos categorías principales: directos e indirectos. En los métodos directos, la cubicación es común. Consiste en medir la altura total del árbol (H) y el diámetro a la altura del pecho (DAP), luego se estima el volumen del fuste utilizando fórmulas geométricas como la del cilindro o el cono, y se calcula el volumen de las ramas y la copa utilizando métodos de aproximación, sumando todo para obtener el volumen total. También se emplean formas volumétricas que utilizan tablas o ecuaciones preestablecidas que relacionan el DAP y la altura con el volumen del árbol, aunque pueden ser menos precisas que la cubicación (Campos & Leite, 2017).

Los métodos indirectos incluyen la relación altura-diámetro, donde se utiliza una ecuación alométrica para estimar el volumen del árbol basándose en el DAP y la altura total, útil cuando no se puede acceder a la copa. Otro método es el uso de modelos de biomasa que relacionan la biomasa del árbol con variables como el DAP, la altura y la densidad de la madera, convirtiendo la biomasa en volumen mediante un factor de conversión, aunque requiere mediciones adicionales (Baluarte-Vásquez & Alvarez-Gonzales, 2015; Campos & Leite, 2017). Los equipos necesarios incluyen cinta métrica, clinómetro, telémetro, formularios de medición y software para cálculos volumétricos. Es fundamental considerar estos aspectos para obtener mediciones precisas y útiles en el manejo forestal (Soares et al., 2011).

2.2.4. Definición del tocón del árbol

El término "tocón" se refiere a la porción del tronco de un árbol que permanece en la tierra después de haber sido cortado o caído. Esta sección proporciona información relevante sobre el diámetro y la altura de los tocones, así como su importancia en diversas aplicaciones (Diéguez-Aranda et al., 2003).

El diámetro del tocón se define como la distancia de un lado al otro del tocón, pasando por su centro. Esta medida se toma típicamente a una altura estándar del suelo, que puede ser de 10 cm, 20 cm o 30 cm. Por otro lado, la altura promedio del tocón varía según varios factores, incluida la especie del árbol, la altura a la que se cortó el árbol y las condiciones del suelo. En general, esta altura oscila entre 10 cm y 50 cm, sin embargo, algunos estudios consideran que un tocón se forma cuando la sección del tronco tiene un diámetro superior a 10 cm (Guzmán-Santiago et al., 2023).

2.2.5. Importancia de la relación entre el volumen y diámetro del tocón

Cuando un árbol es cortado se observa que se deja una porción de madera llamada tocón. La mensuración del tocón, especialmente el diámetro, es de suma importancia debido que alberga mucha información importante que puede ayudar a entender las siguientes peculiaridades (Diéguez-Aranda et al., 2003; Parresol, 1998):

- ✓ Evaluar la madera aprovechada en un corte final o raleo.
- ✓ Verificar las prácticas de cosecha después de la remoción de árboles.
- ✓ Determinar la pérdida de volumen resultante de los cortes ilícitos.
- ✓ Evaluar los daños resultantes de condiciones ambientales adversas.
- ✓ Rastrear la historia del corte para evaluar las prácticas silvícolas.

De acuerdo con Campos y Leite (2017) la relación entre el volumen y diámetro del tocón son necesarias para cuando el cortador de madera a cruzado los límites de la propiedad o cuando han removido árboles que no estaban marcados para talar. Las mediciones de tocones en áreas de muestra también se pueden usar para estimaciones estatales o regionales del volumen de madera cortada anualmente, en lugar de la encuesta habitual de producción de madera.

2.2.6. Importancia de la relación entre el diámetro a la altura del pecho y el diámetro del tocón

El diámetro normal es una de las variables importantes dentro de la mensuración forestal. Es una variable bien requerida para estudios de inventario, estructura y dinámica, crecimiento y

producción forestal por su fácil mensuración, que prácticamente casi todos los modelos matemáticos la incluyen como variable independiente (Campos & Leite, 2017).

La relación entre el diámetro normal y el diámetro del tocón es necesaria cuando el modelador utiliza modelos matemáticos en que el diámetro normal es una variable independiente para una predicción volumétrica. Por lo general la gran mayoría de los modelos volumétricos utilizan el diámetro normal en vez del diámetro de tocón, de aquí su importancia de establecer la relación entre ambas variables (Diéguez-Aranda et al., 2003). La relación de estas dos variables siempre va a ser lineal, es decir, $DAP = \beta_0 + DT * \beta_1$, en que DAP es el diámetro a la altura del pecho y DT es el diámetro del tocón. Establecida la relación del DAP y DT , se pueden establecer predicciones volumétricas utilizando cubicaciones locales o modelos matemáticos (Bylin, 1982; Campos & Leite, 2017; Soares et al., 2011).

2.2.7. Redes neuronales artificiales en la ingeniería forestal

Una red neuronal se puede definir como un conjunto de neuronas artificiales distribuidas en capas conectadas de una forma específica para desarrollar una determinada tarea. Esta red neuronal fue motivada por el funcionamiento del cerebro humano en su procesamiento de informaciones, pudiéndose organizar diferentes elementos y reconocimientos de patrones, más rápido que un computador computacional (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022).

A lo largo de tiempo se han empleado adaptar a las ciencias forestales diferentes algoritmos y técnicas de machine learning, tales como random forest (de Oliveira et al., 2021; Liu et al., 2020; Pereira et al., 2021), support vector machines (García Nieto et al., 2012), técnica de boosted (Gonçalves et al., 2021) y redes neuronales artificiales (Casas, Fardin, et al., 2022; Casas, Gonzáles, et al., 2022; Rocha et al., 2018).

El uso de redes neuronales en las ciencias forestales se ha vuelto muy común por ser una técnica potente para resolver problemas, especialmente en las áreas de modelación matemáticamente, por motivos que se pueden utilizar muchas otras variables, en especial características climáticas, edáficas y fisiográficas (Aline et al., 2018). Por lo general, las redes neuronales artificiales presentan mejor precisión en sus predicciones que utilizando los modelos matemáticos tradicionales.

Dentro de la mensuración forestal, las redes neuronales han presentado estimaciones altamente precisas en las predicciones de altura (Casas, Gonzáles, et al., 2022; Da Rocha et al., 2021; Silva et al., 2020; Vendruscolo et al., 2017), volumen (Casas, Fardin, et al., 2022; da Silva

Tavares Júnior et al., 2019; Freitas et al., 2020), afilamiento del fuste (da Cunha Neto et al., 2019).

Redes neuronales artificiales aplicado en las ciencias forestales

Las redes neuronales artificiales (RNA) han demostrado ser herramientas valiosas en la clasificación de patrones complejos y con alta variabilidad, superando la precisión de los métodos convencionales. Rodríguez et al. (2022) implementaron una metodología estructurada que incluyó tanto la recolección como el procesamiento de datos para evaluar la eficacia de las RNA en este ámbito. En la etapa de recolección y adecuación de información, utilizaron una imagen Landsat TM junto con un modelo de elevación digital (MED) proporcionado por el INEGI. A partir de estos insumos, generaron capas de exposición, pendiente y altitud, además de digitalizar información cartográfica relacionada con escurrimientos, edafología, geología y vegetación.

Durante el procesamiento de datos, construyeron una matriz compuesta por valores de componentes principales y diversas variables ambientales, como altitud, exposición, pendiente, distancia a escurrimientos, geología, edafología y vegetación. Utilizaron el software NeuroShell 2 para diseñar y entrenar una RNA con dos capas ocultas y funciones de activación tangencial hiperbólica y gaussiana.

En la fase de entrenamiento, la RNA final consistió en cuatro capas: nueve neuronas en la capa de entrada, 36 neuronas en cada capa oculta y una neurona en la capa de salida. Este diseño alcanzó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,8617 y un coeficiente de correlación de 0,9283. Posteriormente, en la fase de prueba, se obtuvo un r^2 de 0,8514 y un coeficiente de correlación de 0,9227, destacando la clase de pastizal-matorral con un 93,99 % de sitios clasificados correctamente.

Las conclusiones del estudio subrayan que las RNA son altamente eficientes para clasificar patrones con gran variabilidad y pueden procesar una gran cantidad de datos casi en tiempo real una vez entrenadas. Además, esta metodología es versátil y puede aplicarse a problemas que requieran manejar extensos volúmenes de información, facilitando así una toma de decisiones más precisa en diversos contextos.

Las redes neuronales artificiales (RNA) continúan demostrando su eficacia en la clasificación de patrones complejos, como lo evidenció Silva et al. (2022) en su estudio realizado en un bosque estuarino de llanura aluvial en Itatupã, Pará, Brasil. En este trabajo, las RNA se

utilizaron específicamente para clasificar estratos forestales, empleando dos algoritmos de propagación resiliente (Rprop+ y Rprop-) en cuatro configuraciones distintas de variables de entrada. El proceso de entrenamiento y prueba de los modelos se llevó a cabo con el software R, y la evaluación de los resultados se realizó mediante una matriz de confusión.

Entre los resultados más destacados, los modelos con combinaciones de las variables altura total (HT), diámetro a la altura del pecho (DAP) y factor de forma (QF), así como HT y DAP o únicamente HT, utilizando el algoritmo Rprop+, alcanzaron un 100% de precisión en la clasificación de los estratos forestales. Estos modelos demostraron no solo una alta tasa de aprendizaje, sino también una confiabilidad y generalización significativas en los datos procesados. La variable HT fue identificada como la de mayor peso en el desempeño de la red neuronal, siendo clave para lograr la precisión observada.

En sus conclusiones, los autores resaltaron que los modelos de RNA con el algoritmo Rprop+ ofrecen una alta precisión para la clasificación de estratos forestales en entornos de llanura aluvial. Este enfoque no solo valida la relevancia de la variable altura total (HT) en la clasificación, sino que también demuestra la capacidad de las RNA para optimizar la planificación forestal y facilitar decisiones de manejo sostenible. Este estudio refuerza el potencial de las RNA como herramientas versátiles y efectivas en la gestión de recursos naturales.

Las redes neuronales artificiales (RNA) destacan como herramientas prometedoras en el ámbito de la estimación de variables forestales, como lo demostró dos Santos et al. (2018) en su estudio centrado en la especie *Couratari stellata*. Este trabajo comparó las estimaciones de volumen obtenidas mediante ecuaciones de regresión tradicionales y RNA, utilizando datos de cubicación rigurosa de 1 351 árboles con diámetros a la altura del pecho (DAP) mayores a 50 cm, recolectados en cuatro Unidades de Producción Anual (UPAs). Para seleccionar el modelo de regresión más adecuado, se emplearon el error cuadrático medio en porcentaje (RMSE %), la correlación de Pearson y el análisis gráfico de residuos porcentuales. Posteriormente, este modelo se comparó con la mejor red neuronal ajustada, utilizando las mismas métricas estadísticas.

Los resultados indicaron que ambos métodos presentaron un ajuste y precisión aceptables, pero las RNA se destacaron al mostrar un desempeño ligeramente superior. Esta ventaja se atribuye a su capacidad de aprender patrones complejos y generalizar el conocimiento

adquirido, lo que les permite ofrecer estimaciones más robustas y confiables.

En sus conclusiones, los autores recomendaron el uso de redes neuronales artificiales para la estimación del volumen de *Couratari stellata*, destacando su habilidad para superar las limitaciones de las ecuaciones de regresión tradicionales. Este enfoque refuerza el potencial de las RNA como herramientas innovadoras para mejorar la precisión en la gestión forestal y en la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento sostenible de los recursos.

Las redes neuronales artificiales (RNA) y los autómatas celulares (AC) se han consolidado como herramientas efectivas para modelar dinámicas forestales complejas, como lo evidenció Reis et al. (2018) en su estudio realizado en la Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. Este trabajo utilizó datos provenientes de inventarios forestales realizados entre 1975 y 2012 para proyectar la distribución diamétrica del bosque. La metodología incluyó el entrenamiento de 300 RNA con datos de parcelas permanentes, utilizándose posteriormente las RNA como regla de evolución para los AC.

Los resultados destacaron la precisión de las proyecciones obtenidas: las cinco mejores RNA lograron coeficientes de correlación superiores al 99 % y errores por debajo del 17 %. Además, las proyecciones mantuvieron la forma de la distribución diamétrica observada a lo largo del tiempo, sin diferencias significativas respecto a los datos reales. La técnica fue validada empleando información de parcelas permanentes, confirmando que las proyecciones seguían las tendencias dinámicas del bosque.

En sus conclusiones, los autores subrayaron la eficiencia de las RNA y AC para proyectar distribuciones diamétricas en la Amazonía, destacando su potencial aplicación en la toma de decisiones para el manejo forestal sostenible. Esto incluye la determinación de ciclos de corta e intensidades de aprovechamiento. Finalmente, recomendaron realizar investigaciones futuras que evalúen diferentes escenarios de corte, con el objetivo de mejorar aún más la precisión y utilidad de las proyecciones en contextos de manejo forestal.

Las redes neuronales artificiales (RNA) se han consolidado como herramientas avanzadas para modelar el crecimiento de árboles individuales en florestas naturales, como lo demuestra el estudio realizado en Viçosa, Minas Gerais (Castro et al., 2020). Durante un periodo de 14 años, se monitorearon diez parcelas permanentes en cinco ocasiones, generando un conjunto robusto de datos que permitió evaluar la eficiencia de las RNA en la proyección simultánea de variables clave: diámetro (dap), altura total (Ht) y altura del fuste (Hf). Los datos se dividieron en dos

grupos: uno para el entrenamiento de las redes neuronales (3 556 casos) y otro para la generalización (2 062 casos).

Se entrenaron dos tipos de redes neuronales, MLP (Perceptrón Multicapa) y RBF (Funciones de Base Radial), utilizando como variables de entrada diámetros y alturas observadas, índices de competencia, nivel de iluminación de las copas, calidad de la copa, grupo ecológico y familia botánica. Los resultados mostraron que ambas redes alcanzaron coeficientes de correlación superiores a 0,900 en la proyección de las tres variables, destacando su alta precisión. Sin embargo, las redes MLP evidenciaron un mejor poder de generalización en comparación con las RBF. Entre los factores más influyentes en las tasas de crecimiento, se identificaron el nivel de iluminación y la calidad de las copas.

El estudio concluyó que las RNA son herramientas altamente eficientes para proyectar simultáneamente el DAP, la altura total y la altura del fuste de árboles en florestas inequiáneas. Este enfoque simplifica el modelado y ofrece resultados precisos que pueden ser aplicados en la gestión sostenible de florestas naturales en Brasil. Además, el potencial de las RNA para la modelación del crecimiento forestal reafirma su utilidad en contextos de manejo forestal y planificación a largo plazo.

Las redes neuronales artificiales (RNA) han demostrado ser herramientas de gran precisión para la estimación de parámetros forestales complejos, como lo evidencia este estudio enfocado en la estimación del volumen de madera a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP). Utilizando datos recopilados de múltiples especies de árboles, se entrenaron RNA diseñadas específicamente para mejorar la exactitud de las estimaciones de volumen de (Oliveira & Valente, 2021).

Los resultados destacaron que las RNA lograron estimaciones altamente precisas, superando en eficiencia y exactitud a los métodos tradicionales. Este desempeño resalta la capacidad de las RNA para modelar relaciones no lineales complejas entre las variables forestales y el volumen de madera.

En sus conclusiones, el estudio reafirma la eficacia de las RNA como herramientas innovadoras para la estimación del volumen de madera forestal. Su implementación no solo permite mejorar significativamente la gestión forestal, sino que también optimiza la planificación de recursos, favoreciendo una explotación más sostenible y eficiente de los ecosistemas forestales.

Las técnicas modernas de modelación como las Máquinas de Vectores de Soporte (MVS) y las Redes Neuronales Artificiales (RNA) ofrecen alternativas precisas y eficientes para la estimación de volúmenes forestales, como lo demuestra el estudio de Cordeiro et al. (2022). Esta investigación evaluó el desempeño de estas metodologías en plantaciones comerciales de eucalipto no desbastadas, ubicadas en cuatro municipios del estado de Amapá, Brasil. Los datos recolectados fueron divididos en un 80% para entrenamiento y un 20 % para validación, permitiendo una comparación detallada entre modelos volumétricos tradicionales y técnicas modernas basadas en MVS y RNA, utilizando variables dendrométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total.

Los resultados indicaron que tanto las MVS como las RNA superaron ligeramente a los métodos tradicionales en la estimación del volumen individual de los árboles. En el caso de las MVS, las configuraciones con funciones de Kernel radial (RBF) y lineal tipo II destacaron por su mayor precisión. Por parte de las RNA, se evaluaron configuraciones como Adaline, Perceptrón Multicapa (MLP) y Funciones de Base Radial (RBF), siendo esta última la que mostró un desempeño superior.

En sus conclusiones, el estudio subraya que las MVS y RNA son metodologías eficaces y estadísticamente confiables, representando una mejora respecto a los enfoques convencionales. Su flexibilidad y precisión las posicionan como herramientas prometedoras para aplicaciones en medición y manejo forestal, contribuyendo al desarrollo de estrategias más sostenibles y eficientes en la gestión de plantaciones comerciales.

Los algoritmos de aprendizaje automático han demostrado ser herramientas valiosas en la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos, como lo evidenció el estudio de Daviran et al. (2023). Esta investigación comparó tres enfoques principales: Máquinas de Vectores de Soporte (SVM), Redes Neuronales Artificiales de Perceptrón Multicapa (MLP-ANN) y Bosques Aleatorios (RF), para identificar las áreas susceptibles a deslizamientos en la subcuenca de Taram-Khalkhal, al noroeste de Irán. El área de estudio, caracterizada por una alta incidencia de deslizamientos, permitió evaluar la precisión y robustez de estos algoritmos en un entorno desafiante.

Se consideraron quince factores predisponentes recopilados a partir de imágenes aéreas y encuestas de campo, integrados en los modelos para generar mapas de susceptibilidad. La validación de los resultados se realizó mediante matrices de confusión y curvas ROC. Entre los

tres algoritmos, RF obtuvo el mejor rendimiento, con un AUC de 0,93. Posteriormente, se utilizó un enfoque híbrido de Bosque Aleatorio Genético (GRF) para optimizar los hiperparámetros clave del modelo, como el número de árboles, divisiones y profundidad, logrando mejorar aún más su rendimiento.

El estudio concluyó que los algoritmos genéticos son herramientas efectivas para optimizar el desempeño de modelos de aprendizaje automático, maximizando su precisión y utilidad en aplicaciones como la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos. Sin embargo, no se descarta las redes neuronales como herramienta alternativa en el estudio. Este enfoque no solo mejora la capacidad predictiva de los modelos, sino que también refuerza su aplicabilidad en la gestión y planificación de riesgos naturales en áreas vulnerables.

2.3. Definición de términos básicos

Bosque: Ecosistema en que predominan especies arbóreas en cualquier estado de desarrollo, cuya cobertura de copa supera el 10 % en condiciones áridas o semiáridas o el 25 % en circunstancias más favorables (OSINFOR, 2017, p. 7).

Manejo forestal: Actividades de caracterización, evaluación, investigación, planificación, aprovechamiento, reintroducción, repoblamiento, enriquecimiento, protección y control de hábitat de las poblaciones de fauna silvestre conducentes a asegurar la producción sostenible de bienes, la provisión sostenible de servicios y la conservación de la diversidad biológica (OSINFOR, 2017, p. 8).

Planificación para la gestión forestal: La planificación forestal y de fauna silvestre se enmarca en la política nacional forestal y de fauna silvestre, que constituye el documento guía del accionar forestal para asegurar el aprovechamiento sostenible y la conservación del recurso forestal y de fauna silvestre (OSINFOR, 2017, p. 8).

Troza: Sección o parte del fuste o tronco de un árbol libre de ramas, de longitud variable, obtenida por cortes transversales (Soares et al., 2011, P. 4).

Diámetro: Es la distancia existente entre dos puntos inscritos en la circunferencia del fuste y que además pasa por el centro del círculo formado por dicha sección (Soares et al., 2011, p. 2).

Tocón: Parte del tronco de un árbol que queda en el suelo unida a la raíz como resultado

del talado (Soares et al., 2011, p. 3).

Diámetro del tocón: Es el diámetro por debajo del dap y que es hallado cuando es removido o talado el árbol (Soares et al., 2011, p 3).

Estimación: Proceso de encontrar una aproximación sobre una medida (Soares et al., 2011).

Redes neuronales artificiales: Sistema computacional con conjunto de neuronas artificiales distribuidas en capas conectadas de una forma específica para desarrollar una determinada tarea. Son modelos matemáticos que intentan simular el funcionamiento del cerebro humano para resolver problemas de la vida real (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 379).

Entrenamiento: Capacidad de aprendizaje de la red neuronal artificial. Aplicación de pasos ordenados que sean necesarios para sintonizar el relacionamiento existente entre las diversas variables que componen los datos con el objetivo de generalizar soluciones (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 407).

Validación: Analizar la eficiencia y la aplicabilidad de la red neuronal. Generalización del conocimiento aprendido por parte del entrenamiento, posibilitando estimar soluciones que son desconocidas. Se analizan con indicadores estadísticos (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 109).

Organización de datos: Conjunto de informaciones respecto a un proceso de entrenamiento, posibilitando el agrupamiento de patrones que presentan particularidades en común de los datos (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 35).

Algoritmo: Son un conjunto finito de pasos elementales que se aplican sistemáticamente hasta alcanzar una solución (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 407).

Función de activación: Deciden si una neurona artificial debe activarse o no. Su objetivo es limitar la salida de la neurona artificial dentro de un intervalo de valores razonables que fueron asumidas (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 387).

Neurona artificial: Es la unidad de procesamiento más pequeña de una red neuronal artificial, que recibe señales de entrada y produce señales de salida, capaces de modelar relaciones de datos no lineales, identificar patrones, hacer predicciones, clasificaciones, entre

otros problemas complejos (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al.,2022, p. 382).

Señales de entrada: Valores asumidos por las variables de una aplicación específica. Es decir, son las variables independientes de un modelo (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 382).

Señales de salida: Valor final en relación de un determinado conjunto de señales de entrada. Es decir, es la variable dependiente del modelo (Aggarwal, 2018; Montesinos López et al., 2022, p. 382).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la investigación

Los datos dendrométricos requeridos para este estudio son provenientes de la Parcela de Corta 04, 06 y 07 de la Concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03 Aserradero Tarapoto S.A.C en el distrito de Pachiza, provincia de Mariscal Cáceres, Región San Martín, las mismas que se encuentran entre los 430 y 1000 metros sobre el nivel del mar. En estas parcelas se encontraron los tocones y al mismo tiempo donde se realizaron los inventarios tipo censos forestales, para el desarrollo de la investigación.

En la Tabla 1, Se aprecia la ubicación política de la Concesión y la Figura 1 se aprecia el mapa de ubicación de la concesión y de las parcelas de corta 04, 06 y 07 donde se realizó la recolección de datos.

Tabla 1

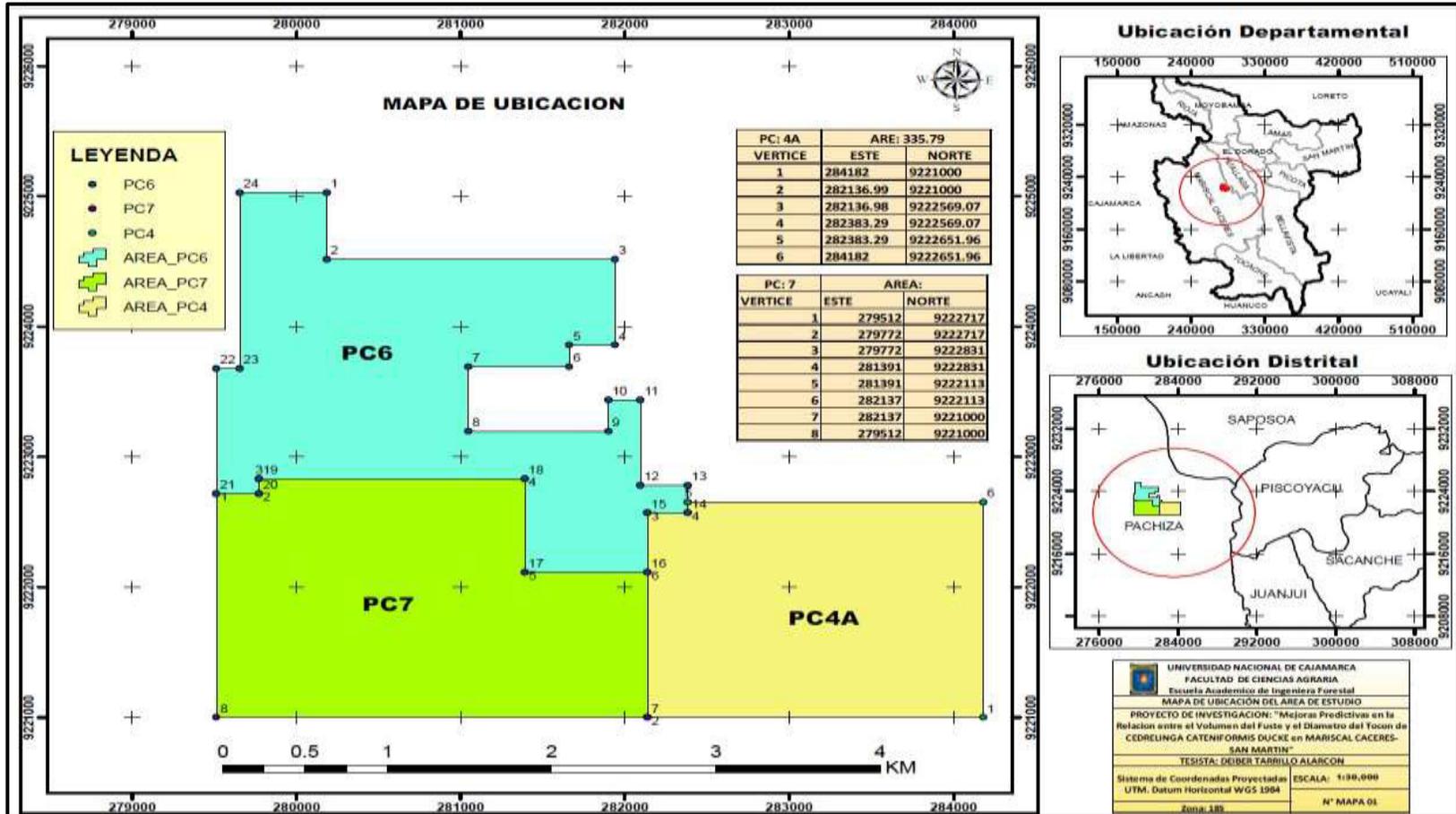
Ubicación política de la Concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03

Región	Provincia	Distritos	Cuenca /Sub cuenca
San Martín	Mariscal Cáceres	Pachiza	Huayabamba /Pachicilla
	Huallaga	Saposoa Piscoyacu	

Nota. Resolución directoral ejecutiva N°1662020/GRSM/ARA/DEACRN—
Autoridad Regional Ambiental – San Martín

Figura 1

Mapa de ubicación de la Concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03



Nota. La figura muestra la ubicación geográfica con coordenadas UTM de las parcelas de corta de la Concesión donde se obtuvo los datos para la investigación.

3.1.1. Ubicación geográfica de la Concesión

La concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03 se ubica en las siguientes coordenadas (Tabla 2):

Tabla 2

Coordenadas UTM de la concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03

Punto	Este (E)	Norte (N)	REFERENCIA
V1	290570	9226000	Rio Pachicilla
V2	292800	9221000	Rio Pachicilla
V3	274334	9221000	
V4	274334	9226000	

Nota. Resolución Directoral Ejecutiva N°166 – 2020/GRSM/ARA/DEACRN – Autoridad Regional Ambiental – San Martín.

3.1.2. Ubicación y extensión de las Parcelas de Corta

La ubicación y extensión de las parcelas de corta se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3

Área y ubicación de las parcelas de Corta

Ubicación	Número de parcela	Área
Distrito de Pachiza	Parcela de Corta N° 04	Área total (ha): 399.80 has.
	Parcela de Corta N° 06	Área total (ha): 447.46 has.
	Parcela de Corta N° 07	Área total (ha): 424.03 has.

Nota. Resolución Directoral Ejecutiva N°166 – 2020/GRSM/ARA/DEACRN – Autoridad Regional Ambiental – San Martín.

3.1.3. Hidrografía y fisiografía

La red hidrográfica del Área de Concesión está conformada por el Río Pachicilla, no siendo navegable hasta la localidad de Bagazan. El río recorre planicies y terrenos colinosos, formando valles aluviales intramontanos. Además, presenta laderas con pendientes de 25% a 50%, ríos, quebradas y lluvias. Sin embargo, los valles formados en las partes media y baja de las principales fuentes de agua de la zona de estudio presentan altitudes que no sobrepasan a los 1000 metros sobre el nivel del mar (Resolución directoral ejecutiva N°166 – 2020/GRSM/ARA/DEACRN – Autoridad Regional Ambiental – San Martín).

3.2. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación utilizado en este estudio fue correlativo. El diseño de este estudio es de tipo no experimental. El estudio es validado mediante indicadores estadísticos (Campos y Leite, 2017).

3.2.1. Unidad de análisis

La población y muestra estuvo representada por la base de datos de la concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03, conformado por 2936 datos mensurables del diámetro del tocón y volumen observado calculado, tanto del inventario y trozado. El análisis del estudio se realizó con la base de inventario al 100 % (Campos y Leite, 2017).

3.2.2. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación se apoyó en una fuente secundaria para obtener datos de registros de la concesión y la autoridad regional forestal. Para recopilar información adicional, se consultaron libros, revistas científicas, tesis y se buscó asesoramiento de un especialista en el área de investigación. Los datos son provenientes de la base de datos de la concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03.

La técnica utilizada fue la observación indirecta con presencia del investigador, además se utilizó la técnica de revisión de registros existentes.

Los instrumentos que se utilizaron fueron formatos de recolección de datos, los mismos que están establecidos por los softwares de procesamiento de datos para las correlaciones que se realizó.

3.2.3. Validación y prueba de confiabilidad

La fiabilidad de la investigación fue mediante el juicio de un experto en el tema.

3.2.4. Procedimiento de la investigación

3.2.4.1. Banco de datos.

La investigación fue desarrollada con la base de datos de 3 parcelas de corta forestal provenientes de la concesión forestal N.º 22-SAM/C-J-017-03, Pachiza Mariscal Cáceres - San Martín. El performance del estudio fue mediante la gráfica de correlación entre el volumen y el diámetro de tocón, siguiendo la tendencia potencial, se realizó la descripción estadística y análisis de frecuencias de errores (Campos & Leite, 2017).

Los datos climáticos fueron solicitados a la base de datos climáticos del SENAMHI.

3.2.4.2. Índices de competición.

En 1979, Glover y Holl propusieron tres índices independientes a la distancia (IID) para medir la competencia entre árboles: el índice de densidad puntual de diámetro (IID1), el índice de densidad puntual de altura (IID2) y el índice de densidad puntual de diámetro y altura (IID3). Estos índices se basan en la idea de que la competencia entre árboles se produce por la limitación de los recursos, como el espacio, el agua y la luz.

IID1 se calcula como la relación entre el diámetro al cuadrado del árbol i y la media aritmética de los diámetros al cuadrado de los árboles en la unidad de muestra. A menor valor del índice, mayor es la competencia sobre el árbol i .

IID2 se calcula como la relación entre la altura del árbol i y la media aritmética de las alturas de los árboles en la unidad de muestra. A menor valor del índice, mayor es la competencia sobre el árbol i .

IID3 se calcula como la relación entre el diámetro al cuadrado del árbol i y la media aritmética de los diámetros al cuadrado de los árboles en la unidad de muestra y como la relación entre la altura del árbol i y la media aritmética de las alturas de los árboles en la unidad de muestra. A menor valor del índice, mayor es la competencia sobre el árbol i .

Las ecuaciones de cada índice de competición independiente a la distancia aplicados en este estudio fueron las siguientes:

$$IID1 = \frac{DAP_i^2}{\overline{DAP^2}} \quad IID2 = \frac{H_i}{\overline{H}} \quad IID3 = \frac{DAP_i^2 H_i}{\overline{DAP^2} \overline{H}}$$

Donde:

$\overline{DAP_i^2}$ = diámetro al cuadrado del árbol i .

$\overline{DAP^2}$ = Media aritmética de los diámetros al cuadrado de los árboles en la unidad de muestra.

H_i = altura del árbol i

\overline{H} = media aritmética de las alturas de los árboles en la unidad de muestra

3.2.4.3. Validación del rendimiento estadístico.

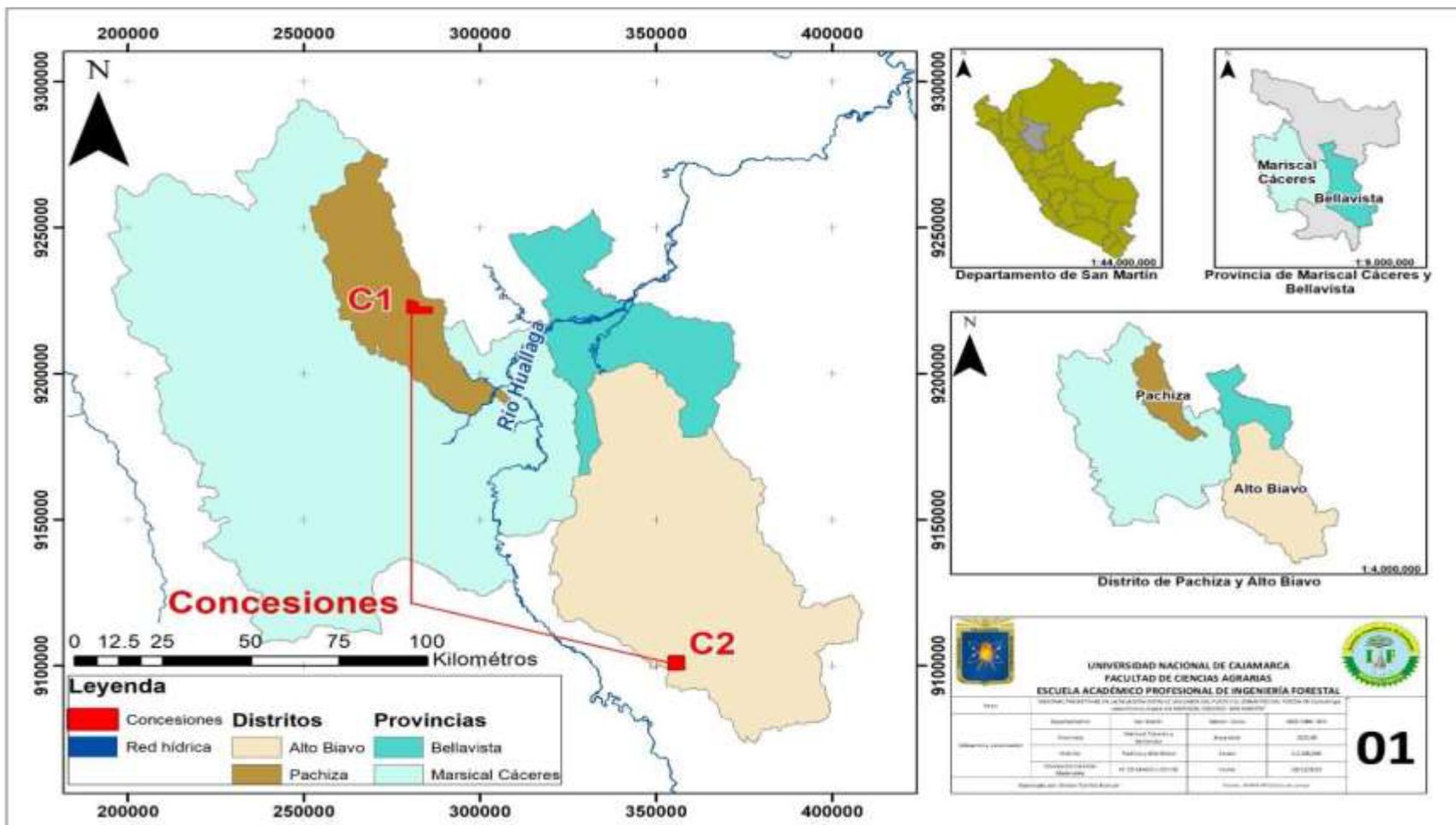
La validación del rendimiento estadístico del modelo se llevó a cabo mediante la utilización de una segunda base de datos externa, proveniente de la concesión forestal maderable N° 22-SAM/C-J-017-03, que representa un hito al ser la primera concesión de este tipo. Este proceso implicó el entrenamiento del modelo con los datos de la primera concesión, mientras que para su validación estadística se utilizaron los datos de esta segunda concesión (Figura 2).

La evaluación de los datos de validación estadística se realizó considerando una serie de indicadores clave, como la correlación (R) entre el volumen observado y estimado, la Raíz Cuadrada del Error Medio (RCEM %), el Bias (Bias %). Además, se interpretó el gráfico de distribución de porcentaje de error relativo (ER %) frente al ajuste. Estos criterios ofrecen una comprensión integral del desempeño y la precisión del modelo.

Para llevar a cabo este análisis, se empleó el software NeuroForest versión 4.0 desarrollado por Binoti en 2012, una herramienta reconocida por su eficacia en la evaluación y procesamiento de datos forestales. La utilización de este software permitió realizar un análisis exhaustivo y preciso que respalde la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en esta validación estadística (Binoti, 2012).

Figura 2

Implementación de la estrategia de validación para evaluar el desempeño estadístico del modelo desarrollado por la concesión 1



Nota. Se visualiza las dos Concesiones (C1 y C2 donde se realizó la obtención de la muestra, con su ubicación política a nivel distrital y provincial.

Las fórmulas de los indicadores estadísticos utilizados fueron:

$$R = \frac{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \hat{Y}_m)(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \hat{Y}_m)^2 n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}; \quad Y_m = n^{-1} \sum_{i=1}^n Y_{pi} \quad RCEM\% = 100 \bar{Y}_i^{-1} \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i)^2}$$

$$ER\% = 100 \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \quad Bias\% = 100 \bar{Y}_i^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{Y}_i - Y_i)}{n}$$

Donde n = Numero de observaciones, \hat{Y}_i = Volumen predictor, Y_i = Volumen observado

and \bar{Y} = Media del volumen observado

3.2.4.4. Arquitectura y algoritmos de la red neuronal artificial

Las predicciones fueron realizadas con la técnica de redes neuronales artificiales. Los datos fueron normalizados con la técnica de máximo y mínimo con la siguiente formula:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

En que:

X' = valor normalizado

X_{max} = mínimo valor de los datos

X_{min} = máximo valor de los datos

El tipo de arquitectura fue de una red neuronal simple de Multilayer Perceptron con 3 capas (1 Capa de entrada, 1 Capa oculta y 1 Capa de salida). La función de activación para la capa oculta y de salida fue sigmoideal. Su configuración consistió en 0.0001 de criterio de parada (error medio) y 3000 ciclos (Casas et al., 2022).

Se evaluaron 10 tipos de algoritmos:

- 1) Resilient propagation

- 2) Backpropagation
- 3) Quick propagation
- 4) Algoritmos genéticos
- 5) Neat
- 6) HyperNeat
- 7) RBF Neural Network
- 8) Support Vector Machine
- 9) Elman
- 10) Jordan

3.2.5. Aspectos éticos considerados

Cientificidad. Los procesos investigativos, se fundamentan en los aspectos metodológicos de la investigación científica, donde se puso en práctica el análisis e interpretación de los resultados mediante indicadores estadísticos de análisis de predicciones.

Veracidad. La presente investigación es inédita del autor, respetando los supuestos teóricos de los autores, debidamente referenciados. Se obtiene autorización para manipular y publicar la base de datos de la concesión forestal N° 22-SAM/C-J-017-03 y que los datos son únicamente utilizados con fines de investigación.

Compromiso institucional. Se considera importante el aporte de la universidad y regional para mejorar la información y conocimientos. El estudio es importante para la comunidad forestal, empresas y concesionarias forestales para mejorar y tomar decisiones en temas de manejo forestal y ambiental en áreas de extracción maderable.

Respeto a la propiedad intelectual. Se redactó tomando en cuenta las fuentes citadas de otros autores e investigadores, para respetar la propiedad intelectual; además el documento final fue escrutado por el software antiplagio Turnitin, para garantizar este principio ético.

3.2.6. Presentación de información

Para la redacción, consolidación y presentación del informe final, los datos se procesaron en hoja de cálculo (Excel) para elaborar tablas y figuras; y hoja de texto (Word) para realizar la redacción del informe de investigación, realizar los análisis e interpretación de resultados. Una vez obtenido los resultados y su respectivo análisis, se procedió a redactar el informe final de tesis, según lo establecido en el Protocolo de la Facultad de Ciencias Agrarias; se utilizó la norma de redacción APA 7ª Edición.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los datos

4.1.1. Análisis del Inventario Forestal

Tabla 4

Características dendrométricas promedio de especies arbórea encontradas en la base de datos de la concesión 1

Nº	Nombre Científico	Nombre común	Nº individuos	Promedio DAP (cm)	Promedio Altura Comercial (m)	Promedio Volumen (m ³)
1	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess	Alfaro	110	76,23	16,92	6,37
2	<i>Caryocar amygdaliforme</i> Ruiz & Pav. Ex G. Don	Almedro	8	74	18,63	5,67
3	<i>Apuleira leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Ana caspi	10	95,9	19,70	9,83
4	<i>Trattinnickia aspera</i> (Stanl.) Swart	Caraña	69	81,1	15,97	6,05
5	<i>Hura crepitans</i> L.	Catahua	58	111,67	18,6	13,51
6	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro de agua	51	103,98	18,61	20,90
7	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	Cedro virgen	91	96,15	19,79	24,79
8	<i>Protium nodulosum</i> Swart	Copal	24	93,17	17,54	8,46
9	<i>Virola calophylla</i> (Spruce) Warb.	Cumala	30	66,10	17,13	8,20
10	<i>Parkia nitida</i> Miq.	Goma pashaco	5	66,40	18,60	4,27
11	<i>Hierronyma asperifolia</i> ax & K. Hoffm.	Manzano	4	70,00	17,00	4,47
12	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Moena	463	78,39	15,05	8,13
13	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Pashaco	4	68,75	16,50	4,16
14	<i>Pachira insignis</i> (Sw.) Sw. Ex Savigny	Punga	127	85,30	17,35	8,95
15	<i>Ficus pertusa</i> L. f.	Renaco	5	79,40	15,8	5,35
16	<i>Miconia poeppigii</i> Triana	Rifari	127	96,95	14,96	7,43
17	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) (Ducke)	Tornillo	1666	110,91	21,02	16,16
18	<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	Yanchama	84	86,46	16,52	6,63

Nota. Datos dendrométricos promedio de los árboles por especie. Fuente: Base de datos de la Concesión 1, (Anexo 3).

En la tabla 4, detalla diversas especies de árboles de la base de datos de la concesión 1, ofreciendo datos sobre la cantidad de árboles por especie junto con sus características promedio. La cantidad de especies varía notablemente, desde apenas 4 árboles (manzano) hasta una presencia considerable de 1 666 árboles (tornillo) de especies. En cuanto al diámetro promedio a la altura del pecho (DAP), este oscila entre 66,10 cm y 111,67 cm, con

una media aproximada de 89,42 cm.

En lo referente a la altura comercial, se observa una diversidad que va desde los 14,96 metros hasta los 21,02 metros, con un promedio cercano a los 17,79 metros. Por último, el volumen promedio, muestra una amplia variación, desde los 4,16 m³ hasta los 24,79 m³, con una media aproximada de 10,92 m³.

Tabla 5

Características dendrométricas promedio de especies arbórea encontradas en la base de datos de la concesión 2.

Nº	Nombre Científico	Nombre común	Nº individuos	Promedio DAP (cm)	Promedio Altura Comercial (m)	Promedio Volumen (m ³)
1	<i>Protium nodulosum</i> Swart	Copal	38	72,45	14,42	4,06
2	<i>Ormosia Coccinea</i>	Huayruro	1	82	18,00	6,18
3	<i>Brosimum alicastrum</i>	Manchinga	18	85,33	17,00	6,85
4	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Moena	65	73,08	15,06	4,53
5	<i>Crypturellus undulatus</i>	Panguana	41	68,46	14,63	3,66
6	<i>Miconia poeppigii</i> Triana	Rifari	84	68,76	13,79	3,44
7	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) (Ducke)	Tornillo	530	83,78	16,98	6,63
8	<i>Terminalia Oblonga</i>	Yacushapana	90	77,38	14,39	4,67

Nota. Datos dendrométricos promedio de los árboles por especie. Fuente: Base de datos de la Concesión 2, (Anexo 3).

La tabla 5, ofrece información detallada sobre diversas especies arbóreas de la base de datos de la concesión 2. La cantidad de árboles por especie varía significativamente, desde solo uno (huayruro) hasta 530 árboles (tornillo) por especie. En cuanto al diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio, fluctúa entre 68,46 cm y 85,33 cm, presentando una media de aproximadamente 76,08 cm. Respecto a la altura comercial promedio, esta oscila entre 13,79 metros y 18,00 metros, con un promedio cercano a los 15,81 metros. En términos de volumen promedio, se observan valores entre 3,44 m³ y 6,85 m³, con una media de alrededor de 5,02 m³.

4.1.2. Análisis de Consistencia de Datos del Trozado Forestal

El trozado forestal se realizó solo para la especie de estudio que fue el tornillo.

Tabla 6

Análisis estadístico del diámetro del tocón y volumen de datos recopilados en la base de datos de la concesión 1

Descripción estadística	Diámetro del tocón (m)	Volumen (m ³)
Media	1,084	13,759
Error estándar	0,009	0,254
Mediana	1,060	12,480
Desviación estándar	0,241	6,804
Varianza de la muestra	0,058	46,293
Kurtosis	0,220	0,638
Asimetría	0,484	0,861
Rango	1,580	38,965
Mínimo	0,620	1,589
Máximo	2,060	40,555
Suma	7,770	98,650
Cantidad	7,170	71,700
Coefficiente de variación (%)	22,250	49,410
Nivel de Confianza (95.0 %)	0,018	0,499

Nota. Datos de estadísticos obtenidos del análisis de la base de datos de la concesión 1, (Anexo 3).

La tabla 6, proporciona un análisis estadístico detallado del diámetro del tocón y el volumen recopilado de la concesión 1. La media del diámetro del tocón es de 1 084 metros. La mediana, que es 1 060 metros, sugiere que la mitad de los datos registrados están por encima y la otra mitad por debajo de este valor, mostrando una distribución cercana entre los valores extremos. La desviación estándar de 0,241 metros representa la dispersión de los datos alrededor de la media; valores más altos indicarían una mayor variabilidad. La curtosis de 0,220, al estar cerca de cero, sugiere una distribución aproximadamente normal alrededor de la media. La asimetría de 0,484 muestra cierta asimetría positiva, indicando una ligera cola hacia la derecha en la distribución. El rango del diámetro del tocón es de 1580 metros, desde el valor mínimo de 0,480 metros hasta el máximo de 2 060 metros, lo que refleja la amplitud total de los datos recopilados. En cuanto al volumen, la media es de 13 759 metros cúbicos, mientras que la mediana es de 12,480 metros cúbicos, mostrando una tendencia similar a la del diámetro del tocón. La desviación estándar de 6,804 metros cúbicos indica la dispersión de los valores alrededor de la media en términos de volumen. El rango del volumen es más amplio, con un máximo de 40 555 metros cúbicos y un mínimo de 1 589 metros cúbicos.

Tabla 7

Análisis estadístico del diámetro del tocón y volumen de datos recopilados en la base de datos de la concesión 2.

Descripción estadística	Diámetro del tocón (m)	Volumen (m ³)
Media	0,949	9,869
Error estándar	0,015	0,393
Mediana	0,910	8,291
Desviación estándar	0,220	5,764
Varianza de la muestra	0,048	33,228
Kurtosis	0,767	3,584
Asimetría	0,920	1,727
Rango	1,080	30,756
Mínimo	0,620	2,906
Máximo	1,700	33,662
Suma	204,06	2121,90
Cantidad	215	215
Coefficiente de variación (%)	23,19	58,32
Nivel de Confianza (95.0 %)	0,030	0,775

Nota. Datos de estadísticos obtenidos del análisis de la base de datos de la concesión 2, (Anexo 3).

En la tabla 7, ofrece una descripción detallada de dos variables: el diámetro del tocón y el volumen correspondiente de la base de datos de la concesión 2, presentando una serie de estadísticas descriptivas. La media del diámetro del tocón se ubica en 0,949 metros, mientras que, para el volumen, la media es de 9,869 metros cúbicos. El error estándar, que mide la precisión de la media estimada, es de 0,015 metros para el diámetro del tocón y 0,393 metros cúbicos para el volumen, mostrando la variabilidad en torno a la media. La mediana, situada en 0,910 metros para el diámetro y 8 291 metros cúbicos para el volumen, señala el valor central de los datos y sugiere una distribución cercana entre los valores extremos. La desviación estándar, de 0,220 metros para el diámetro y 5 764 metros cúbicos para el volumen, indica la dispersión de los datos alrededor de la media, donde valores mayores reflejarían mayor variabilidad. La curtosis, con valores de 0,767 para el diámetro y 3 584 para el volumen, sugiere cierta concentración de datos alrededor de la media y la presencia de colas más pesadas que una distribución normal. La asimetría, con valores de 0.920 para el diámetro y 1 727 para el volumen, indica una distribución asimétrica positiva, con la mayoría de los datos en el lado izquierdo de la media. El rango, que muestra la diferencia entre el valor máximo y mínimo, es de 1,080 metros para el diámetro y 30 756 metros cúbicos para el volumen.

Al comparar los dos conjuntos de datos (base de datos de la concesión 1 y 2), se evidencia una diferencia cuantitativa significativa en las medidas estadísticas. En la concesión 2, tanto el diámetro del tocón (0,949 m) como el volumen (9 869 m³) muestran valores más bajos en medidas centrales como la media y la mediana en comparación con la base de datos de la concesión 1 (diámetro: 1 084 m, volumen: 13 759 m³). Además, las desviaciones estándar en concesión 2 para el diámetro (0,220 m) y el volumen (5 764 m³) también son inferiores respecto al cuadro original (diámetro: 0,241 m, volumen: 6 804 m³), indicando una menor dispersión de los datos alrededor de la media en el nuevo conjunto. Sin embargo, la curtosis y la asimetría en la base de datos de la concesión 2 son mayores en ambas variables, señalando una mayor concentración alrededor de la media y una distribución más asimétrica hacia la derecha en comparación con la base de datos de la concesión 1. Estos resultados cuantitativos reflejan una diferencia marcada en la tendencia central y la distribución de los datos entre ambos conjuntos.

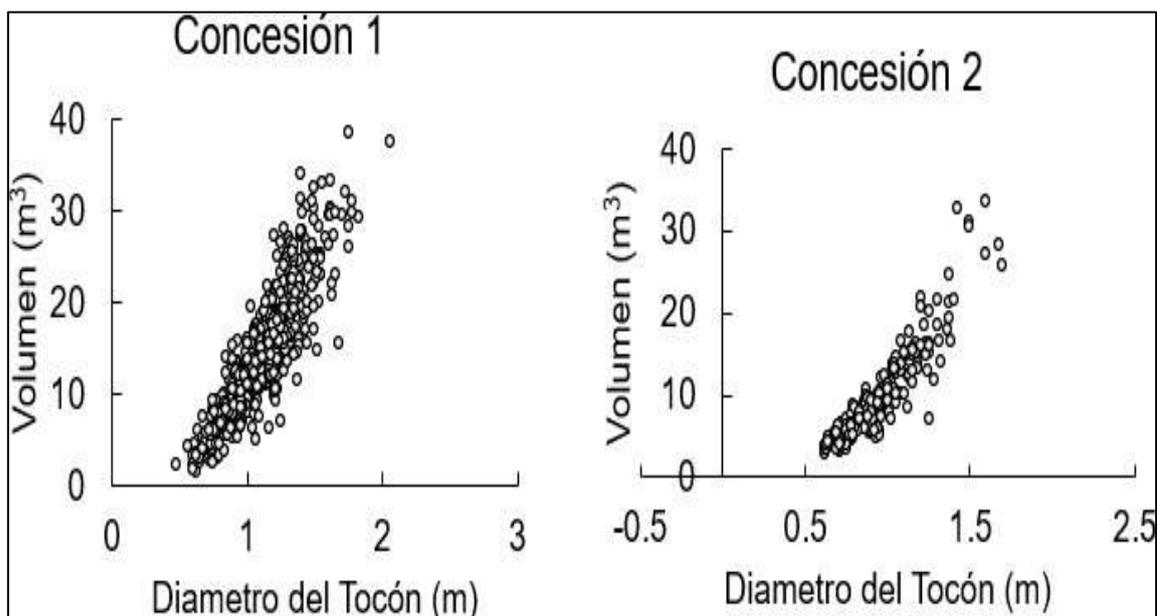
Según la prueba estadística de t de Student para las muestras independientes, donde se comparó las medias de las dos muestras (las medidas de diámetro del tocón y volumen de la base de datos de las concesiones 1 y 2) Con la finalidad determinar si existen diferencias significativas entre ellos. La prueba t de Student evaluó si las diferencias observadas entre los conjuntos de datos son atribuibles al azar o si realmente representan una discrepancia significativa entre las poblaciones de las cuales se extrajeron los datos.

Los valores p obtenidos para el diámetro del tocón y el volumen son menores a 0,05, lo que suele interpretarse como una fuerte evidencia en contra de la hipótesis nula. En este contexto, la hipótesis nula fue que no hay diferencia significativa entre las medias de los dos conjuntos de datos. Por lo tanto, con valores $p < 0,05$, se puede concluir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del diámetro del tocón y el volumen entre los dos conjuntos de datos. En otras palabras, hay suficiente evidencia para afirmar que las muestras provienen de poblaciones diferentes en términos de estas variables.

Se generaron figuras de dispersión entre el volumen y el diámetro (Figura 3), donde se teorizaba que esta relación seguiría una tendencia potencial (Campos y Leite, 2017), en que efectivamente ambas relaciones mostraron una tendencia potencial, lo que permitió validar los modelos empleados para datos provenientes de dos áreas diferentes con una tendencia similar, pero con diferencias estadísticas significativas.

Figura 3

Dispersión de la relación del diámetro del tocón y el volumen provenientes de la base de datos de la concesión 1 y concesión 2



Nota. Gráfico de dispersión de puntos, según valores obtenidos del procesamiento de datos.

4.2. Análisis de índice de competición

En la tabla 8, se indica los valores promedio de tres índices de competencia propuestos por Glover e Holl (1979) para 13 especies de árboles para la concesión 1. La interpretación de los índices es que, a menor valor del índice, mayor es la competencia sobre el árbol en cuestión. Esto implica que valores más bajos en estos índices indican una mayor presión competitiva sobre el árbol individual dentro de su entorno, lo que puede tener implicaciones significativas en términos de crecimiento y recursos disponibles para ese árbol específico dentro del contexto de la competencia intraespecífica.

Tabla 8

Análisis de índices de competición entre especies arbóreas en la base de datos de la concesión 1.

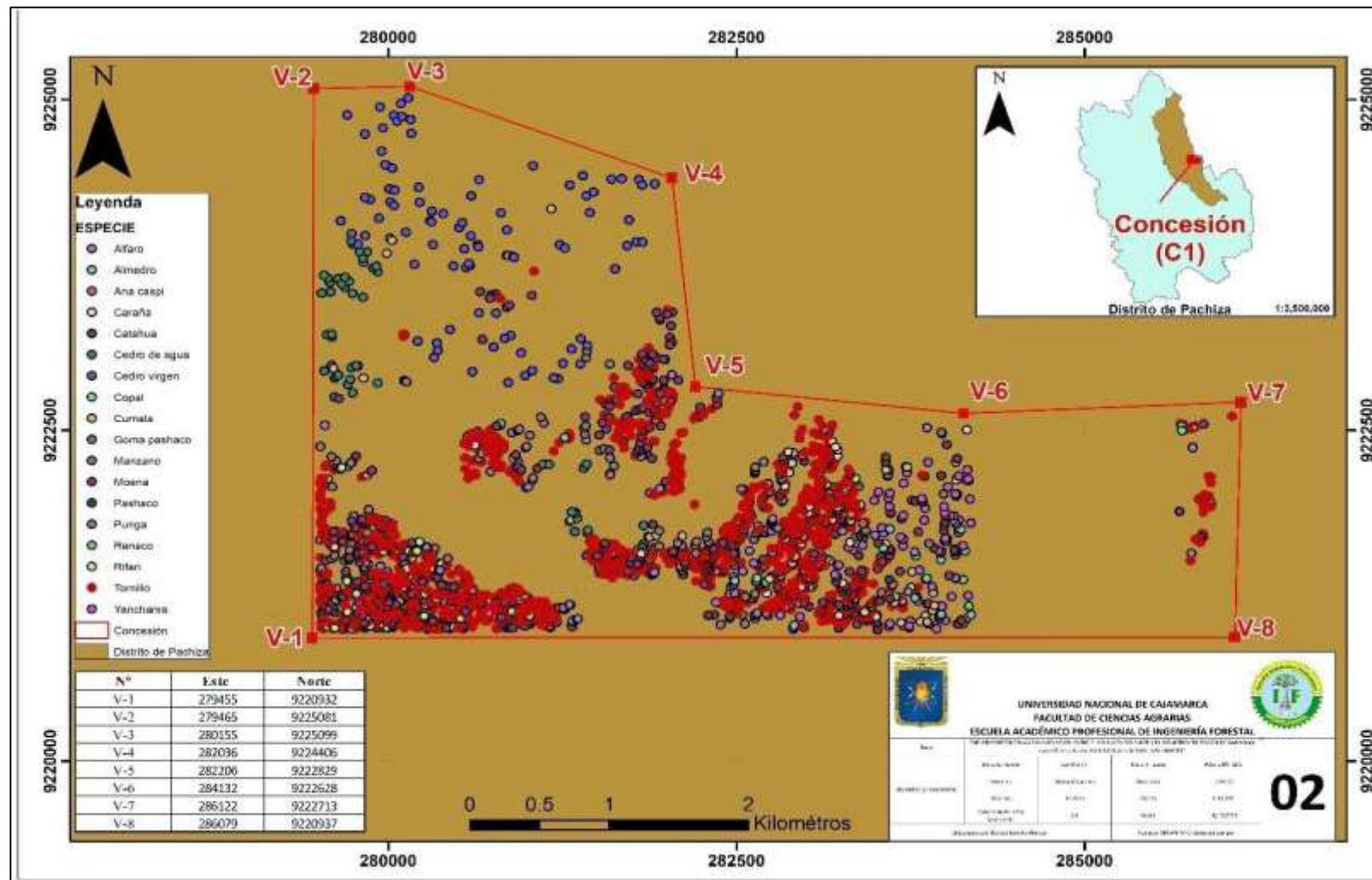
Nº	Nombre Científico	Nombre común	Promedio IID1	Promedio IID2	Promedio IID3
1	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess	Alfaro	0,32612	0,88947	0,28538
2	<i>Caryocar amygdaliforme</i> Ruiz & Pav. Ex G. Don	Almedro	0,54777	1,008	0,56085
3	<i>Apuleira leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Ana caspi	0,86249	1,03591	0,8929
4	<i>Trattinnickia aspera</i> (Stanl.) Swart	Caraña	0,78178	0,84948	0,71819
5	<i>Hura crepitans</i> L.	Catahua	2,63229	1,00552	2,77105
6	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro de agua	1,61461	0,9951	1,64572
7	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	Cedro virgen	1,43515	1,07141	1,63593
8	<i>Protium nodulosum</i> Swart	Copal	1,14738	0,92951	1,04676
9	<i>Virola calophylla</i> (Spruce) Warb.	Cumala	0,22203	0,91596	0,21074
10	<i>Parkia nitida</i> Miq.	Goma pashaco	0,24227	1,00665	0,25139
11	<i>Hierronyma asperifolia</i> ax & K. Hoffm.	Manzano	0,34128	0,92006	0,32277
12	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Moena	0,40597	0,79011	0,3287
13	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Pashaco	0,29139	0,893	0,27706
14	<i>Pachira insignis</i> (Sw.) Sw. Ex Savigny	Punga	0,50648	0,90958	0,47234
15	<i>Ficus pertusa</i> L. f.	Renaco	0,63621	0,85511	0,56156
16	<i>Miconia poeppigii</i> Triana	Rifari	0,82829	0,77933	0,63066
17	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) (Ducke)	Tornillo	2,02844	1,1001	2,38447
18	<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	Yanchama	0,87064	0,89428	0,78395

Nota. IID,= índices de competición promedio calculado. Fuente: elaborado con los datos de la concesión 1, (Anexo 4).

En la tabla 8 se observa los valores de los índices IID1, IID2 e IID3 para cada especie (Tabla 8), se evidencia que aquellas especies con valores más bajos en estos índices experimentan una mayor competencia entre sus árboles individuales dentro del ecosistema en comparación con aquellas especies que presentan valores más altos en estos índices. Por ejemplo, especies como cumala, goma pashaco y moena tienen valores relativamente bajos en los tres índices, lo que sugiere una mayor competencia intraespecífica entre sus árboles. En contraste, especies como catahua y tornillo presentan valores más altos en los índices, indicando una menor competencia entre sus árboles individuales en el mismo entorno. Es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en promedios, por lo que es posible que haya individuos de una especie que experimenten mayor o menor competencia que el promedio de la especie, que a mayor detalle individual se puede observar en el anexo 3.

Figura 4

Mapa de dispersión de las especies en el entorno de la concesión 1



Nota. Se muestran la dispersión de los árboles de tornillo en la parcela de corta, identificándose de color rojo.

Tabla 9

Análisis de índices de competencia entre especies arbóreas en la base de datos de la Concesión 2

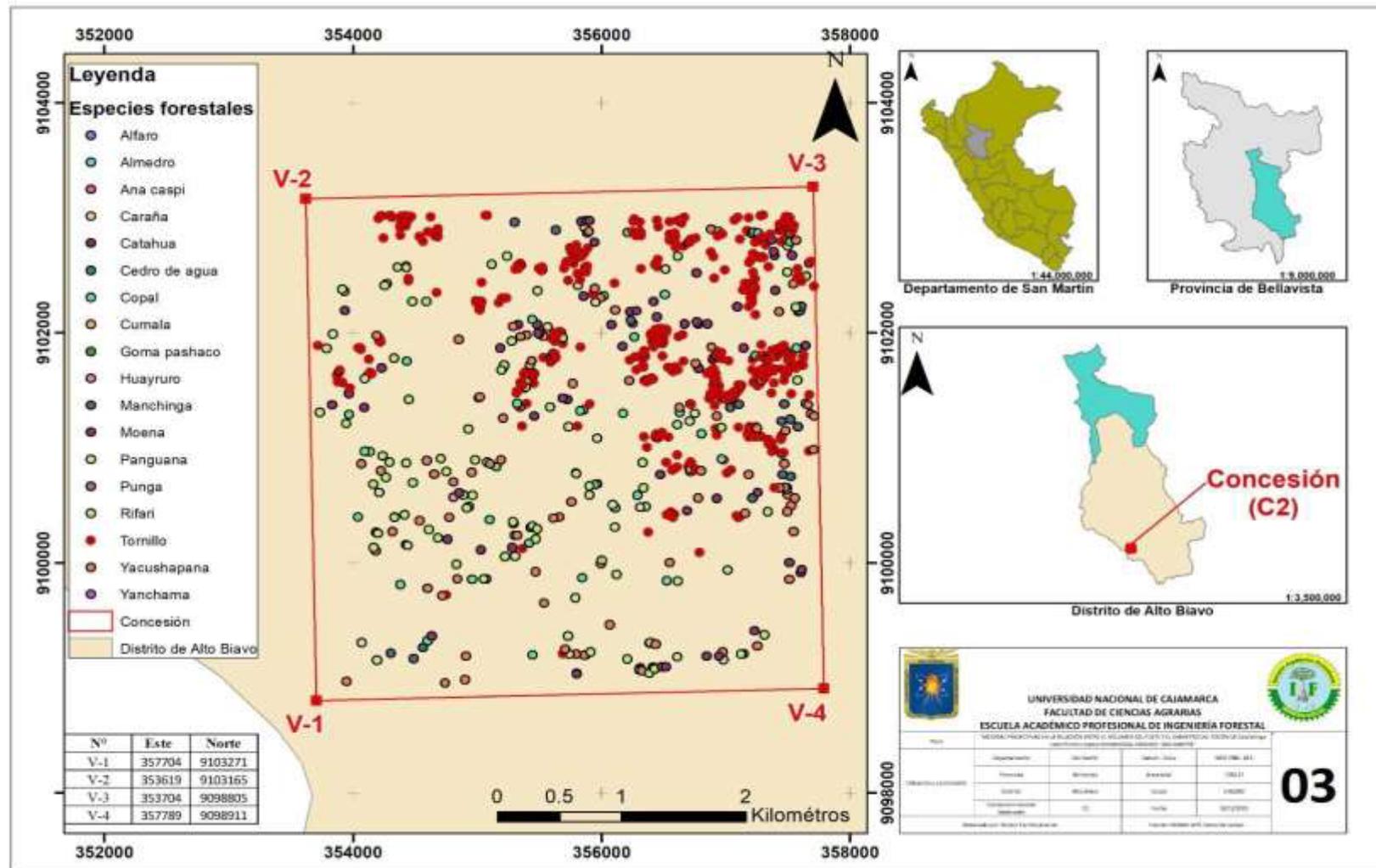
Nº	Nombre científico	Nombre común	Promedio IID1	Promedio IID2	Promedio IID3
1	<i>Protium nodulosum</i> Swart	Copal	0,75671	0,90436	0,72583
2	<i>Ormosia Coccinea</i>	Huayruro	1,09900	1,1857	1,30309
3	<i>Brosimum alicastrum</i>	Manchinga	1,48033	1,05661	1,68486
4	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Moena	0,84883	0,93813	0,89817
5	<i>Crypturellus undulatus</i>	Panguana	0,57883	0,91913	0,5595
6	<i>Miconia poeppigii</i> Triana	Rifari	0,61099	0,88657	0,55118
7	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) (Ducke)	Tornillo	1,49087	1,05278	1,68317
8	<i>Terminalia Oblonga</i>	Yacushapana	1,01951	0,90357	0,96297

Nota: IID,= índices de competición promedio calculado. Fuente: elaborado utilizando la base de datos de la concesión 2, (Anexo 4).

La tabla 9, indica los valores promedio de tres índices de competencia propuestos por Glover e Holl (1979) para 13 especies de árboles para la tabla 9. Al analizar los valores de los índices para cada especie en esta nueva tabla, se observa que especies como copal, moena y yacushapana presentan valores relativamente bajos en los tres índices, lo que sugiere una alta competencia entre los árboles de la misma especie en un área específica. Por otro lado, especies como huayruro, manchinga y tornillo exhiben valores más altos en los índices, indicando una menor competencia intraespecífica en comparación con las anteriores. Figura 5 muestra el mapa de dispersión en el entorno de la concesión 2.

Figura 5

Mapa de dispersión de las especies en el entorno de la Concesión 2



Nota: Se muestran la dispersión de los árboles de tornillo en la parcela de corta, identificándose de color rojo

En comparación entre ambas concesiones que analizamos, se observa que algunas especies mantienen un comportamiento similar en términos de competencia. Por ejemplo, Moena muestra valores bajos en ambas concesiones, lo que sugiere una alta competencia en ambas muestras. Sin embargo, hay diferencias entre especies como copal y tornillo. En la Concesión 1, tornillo tenía un valor alto, indicando una menor competencia, mientras que en la concesión 2, tornillo muestra valores más bajos, sugiriendo una mayor competencia. Esto puede sugerir variabilidad en la competencia intraespecífica entre diferentes muestras o contextos ecológicos, esta comparativa de datos proporciona una visión de la competencia intraespecífica entre diferentes especies arbóreas de dos sitios. En el anexo 3, se aprecian a mayor de talle los índices de competición para cada árbol.

4.3. Descripción de los datos climáticos

Los datos climáticos son provenientes de la estación climática más cercana al área de estudio y las variables pertenecen al año 2022, tanto para la concesión 1 y 2. Las variables proporcionadas fueron la precipitación total, las temperaturas máximas y mínimas promedio, la temperatura promedio mensual, la humedad relativa promedio y la evaporación total mensual.

Tabla 10

Registro mensual y anual de las condiciones climáticas en el área de la concesión 1.

Meses	P.T. M (mm)	T. Max. P.M (C)	T. Min.P.M (C)	T.P.M (C)	H.R.P.M (H)	E.T.M (mm)
Enero	104	34	21,8	27,5	83	116,4
Febrero	190,5	31,6	21,6	26,1	88	86,9
Marzo	247,9	31,2	21,2	25,8	89	86,3
Abril	98,8	32	21,4	26	88	90,6
Mayo	126,3	31,6	21	26,7	88	88,9
Junio	110	31,5	20	25	88	87,6
Julio	41,9	33,2	20,5	25,9	87	68,6
Agosto	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Setiembre	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Octubre	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Noviembre	113,2	33,3	21,9	26,9	S/D	196,3
Diciembre	46,1	34	21,2	26,7	S/D	46,7
Anual	1078,7	34	20	26,29	87,29	868,30

Nota: P.T.M = Precipitación Total Mensual, T.Max.P.M = Temperatura Máxima Promedio Mensual, T.Min.P.M = Temperatura mínima Promedio Mensual, T.P.M = Temperatura Promedio Mensual, H.R.P.M = Humedad Relativa Promedio Mensual, E.T. M = Evaporación Total Mensual. Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI, Estación Saposoa (2023).

La tabla 10, presenta los datos climáticos pertenecientes al área de la concesión 1. La precipitación mensual muestra variaciones a lo largo del año, siendo marzo el mes con la precipitación más alta (247,9 mm). Las temperaturas máximas promedio varían entre 31,2 °C en marzo y 34 °C en enero y diciembre, mientras que las temperaturas mínimas promedio oscilan entre 20 °C en agosto y 21,9 °C en noviembre. La temperatura promedio mensual se encuentra alrededor de los 26,29 °C. La humedad relativa promedio mantiene una cifra constante alrededor del 87 %, con variaciones menores a lo largo del año 2023. En cuanto a la evaporación mensual, también hay fluctuaciones significativas, con meses como enero y noviembre registrando valores altos y otros meses mostrando cifras más bajas. También se encuentran datos registrados (S/D), indicando la falta de información disponible para estos meses o la ausencia de mediciones en ese período específico.

Tabla 11

Registro mensual y anual de las condiciones climáticas en el área de la concesión 2.

Meses	P.T. M(mm)	T. Max.P.M (C)	T. Min.P.M(C)	T.P.M (C)	H.R.P.M(H)	E.T.M (mm)
Enero	91.4	33.1	20.4	27	79	153.9
Febrero	90.9	31.2	19.9	26.2	81	10.8
Marzo	115.6	31.8	19.9	26.5	80	126.4
Abril	124.9	31.9	19.8	26.3	80	121.2
Mayo	180.3	32.3	19.7	26.5	80	132.8
Junio	37.8	33.3	19.2	27	78	148.2
Julio	31.4	34.3	20	27.4	79	171.6
Agosto	115.1	34	19.7	27.1	79	165.5
Setiembre	35.9	34.6	20.4	27.9	79	177.6
Octubre	79.4	33.3	20.4	27.2	79	164.1
Noviembre	70.4	33.1	20.1	26.7	81	147.8
Diciembre	60.8	34.8	20.5	27.2	80	187.3
Anual	1033.9	34.8	19.2	26.91	79.58	1707.2

Nota: P.T.M = Precipitación Total Mensual, T.Max.P.M = Temperatura Máxima Promedio Mensual, T.Min.P.M = Temperatura mínima Promedio Mensual, T.P.M = Temperatura Promedio Mensual, H.R.P.M = Humedad Relativa Promedio Mensual, E.T. M = Evaporación Total Mensual. Fuente: Base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Senamhi, Estación Tingo de Ponanza 2023.

La tabla 11, presenta los datos climáticos pertenecientes al área de la concesión 2. En términos de la precipitación, se observa una variabilidad a lo largo del año, siendo mayo el mes con la precipitación más alta (180,3 mm) y junio y julio los meses con las cifras más bajas. Las temperaturas muestran una oscilación en las máximas y mínimas promedio, con

valores más altos en meses como agosto y diciembre, y valores más bajos en febrero y marzo. La temperatura promedio mensual se mantiene alrededor de los 26,91 °C, con variaciones a lo largo del año. La humedad relativa mensual se mantiene bastante constante alrededor del 79-81 %, con variaciones menores a lo largo de los meses. La evaporación mensual varía considerablemente, mostrando altos niveles en meses como agosto y diciembre, y valores más bajos en meses como febrero y marzo.

Comparativamente con el sitio de la concesión 1 y 2, se observan algunas diferencias en los patrones climáticos mensuales. La precipitación anual es similar en ambos sitios, pero las fluctuaciones mensuales varían en cuanto a la distribución de la lluvia y la evaporación a lo largo del año.

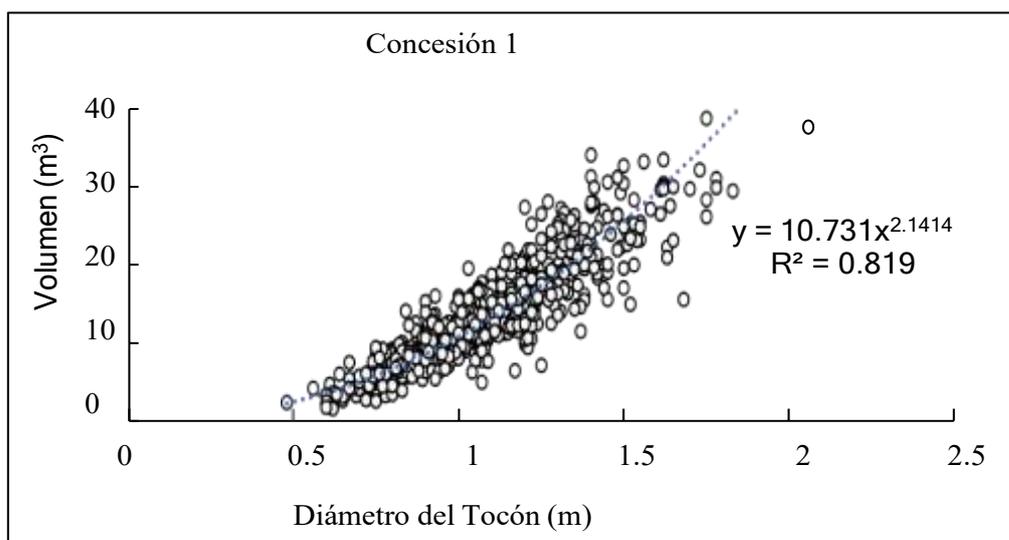
4.4. Análisis de Modelamiento

4.4.1. Análisis del Modelo Potencial

En esta etapa de modelamiento se utilizó la base de datos de la concesión 1 para ajustar los parámetros de la ecuación potencial $y = \beta_0 x^{\beta_1}$, mientras la base de datos de la concesión 2 fue utilizado para la validación de los datos predictivos. Cuando el modelo se aplica a la base de datos de la Concesión 1, los valores establecidos se denominan estimaciones. Cuando el modelo se aplica a la base de datos de la Concesión 2, los valores establecidos se denominan predicciones.

Figura 6

Relación entre el diámetro del tocón y el volumen con su línea de tendencia potencial de la base de datos de la concesión 1



Nota. Gráfico de dispersión de puntos, según valores obtenidos del procesamiento de datos.

En la figura 6, se muestra la relación entre el diámetro del tocón y el volumen de los árboles de la base de datos de la concesión 1. Al ajustar el modelo potencial se obtuvo la ecuación $y = 10,731x2,1414$, siendo y el volumen (m^3) y x el diámetro del tocón (m). Así mismo muestra la línea de tendencia potencial con su respectiva ecuación con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,7942.

Tabla 12

Comparación de los indicadores estadísticos de la estimación y la predicción del modelo de regresión potencial

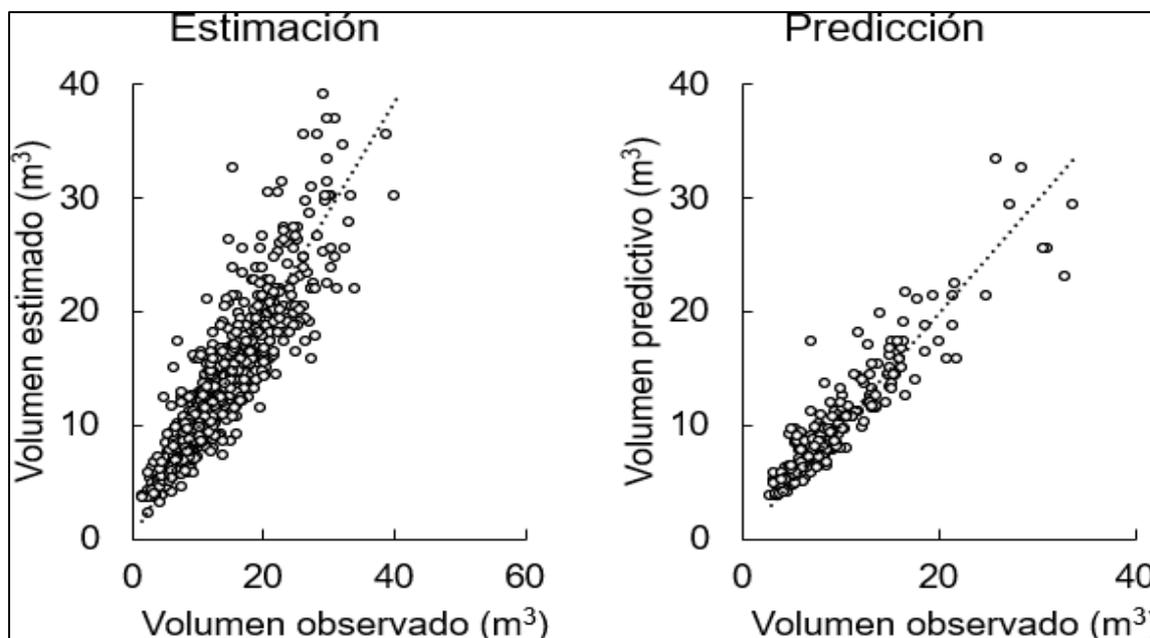
Indicador	R^2	R	RECM (%)	BIAS
Estimación	0,7942	0,8912	22,7684	-0,2290
Predicción	0,8589	0,9268	22,1961	0,3566

Nota. Validación estadística de las estimaciones y predicciones con indicadores de ajuste.

En la tabla 12, se muestra los resultados de los indicadores estadísticos para ambas situaciones. El coeficiente de determinación (R^2) que indica la proporción de la varianza en la variable dependiente que es estimado o predecible a partir de la variable independiente. En este caso, la estimación tiene un R^2 de 0,7942, mientras que la predicción tiene un R^2 de 0,8589, lo que indica que el modelo tiene un mejor ajuste para la predicción que para la estimación. El coeficiente de correlación (R) entre las variables dependiente e independiente. Mientras más cerca esté de 1, mayor es la relación lineal entre los valores observados y estimados o predichos. Para la estimación es 0,8912 y para la predicción es 0,9268, lo que indica una relación más fuerte entre las variables para la predicción. El error cuadrático medio relativo (RECM %), que indica la precisión del modelo. En ambos casos (estimación y predicción), el valor es similar, alrededor del 22-23 %, lo que sugiere una consistencia en el error relativo entre ambas situaciones. El sesgo o BIAS, mide la tendencia del modelo a subestimar o sobreestimar los valores reales. Para la estimación, el BIAS es -0,2290, indicando un sesgo negativo, y para la predicción es 0,3566, mostrando un sesgo positivo. El sesgo es positivo para las predicciones lo que significa que el modelo tiende a sobreestimar los valores reales.

Figura 7

Correlación entre el volumen observado y estimado, base de datos de la concesión 1 y 2



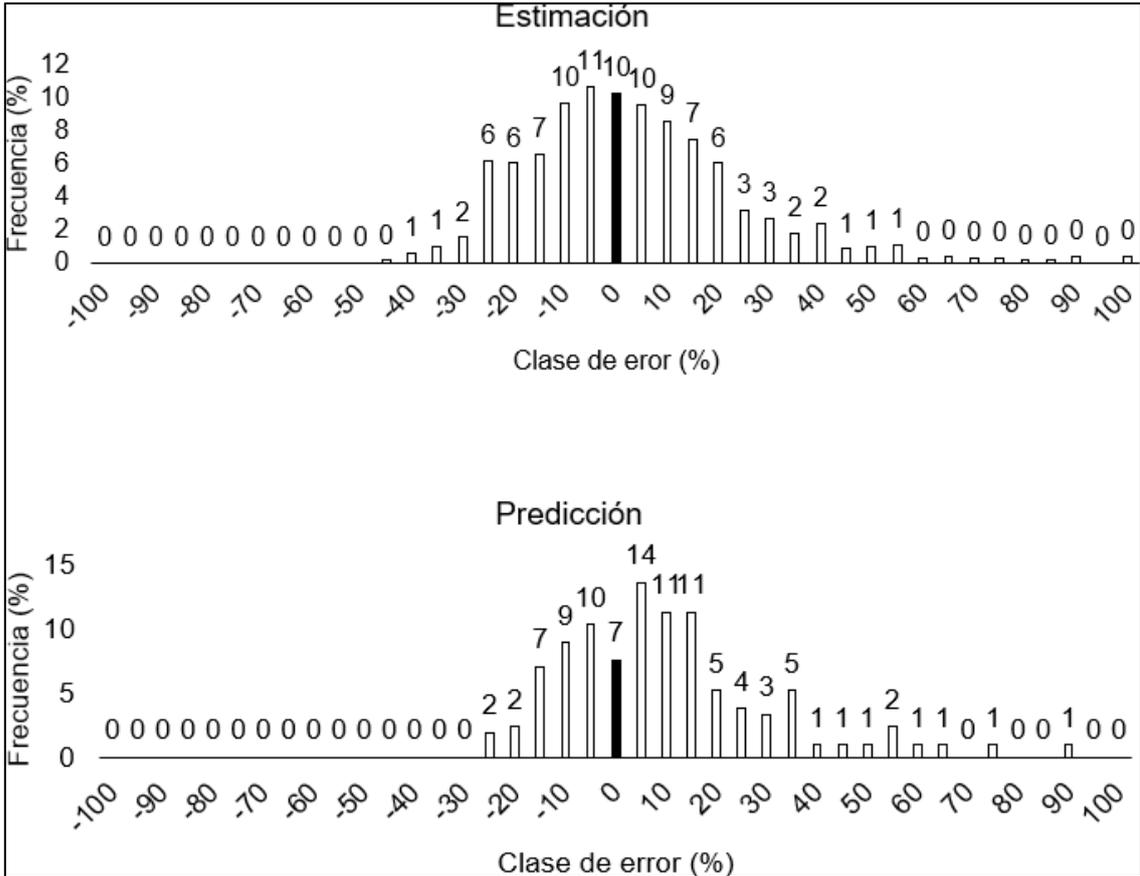
Nota. Gráfico de dispersión de puntos, según valores obtenidos del procesamiento de datos comparando la estimación y la predicción de volúmenes de los árboles.

En la Figura 7, se representan dos partes: primero que muestra la correlación entre el volumen observado y estimado utilizando la base de datos de la concesión 1, y otro que grafica la correlación entre el volumen predicho y observado usando la base de datos de la concesión 2. Estas figuras nos ayudaron a interpretar el indicador de correlación mostrado en la Tabla 9, el cual revela que la correlación en la predicción es mayor que en la estimación. No obstante, al observar la Figura 2, se evidencia claramente que la base de datos empleada para la predicción del modelo cuenta con menos datos que la utilizada en la estimación. Esta disparidad en los tamaños de muestra puede influir significativamente en los resultados de los indicadores estadísticos. Este escenario es recurrente al analizar datos forestales, especialmente cuando el modelo se aplica en un área diferente con una fuente de datos distinta, lo que puede dificultar la toma de decisiones para un modelador forestal. A pesar de que el error cuadrático medio relativo es similar en ambos casos, es evidente que tanto el coeficiente de correlación como la correlación en sí misma pueden mostrar tendencias sesgadas al analizar datos predictivos en el contexto de la ingeniería forestal.

Se ha generado la distribución de las clases de error para los valores estimados y predictivos a partir del modelo potencial, presentándose en la Figura 8. Esta distribución

permite evaluar la precisión de las predicciones. Idealmente, la mayor cantidad de datos estimados o predichos debería ubicarse en la clase de error de 0 %. En las estimaciones, el 10 % de los datos se clasifican en el error de 0 %, mientras que, en las predicciones, este porcentaje se reduce al 7 %. En las estimaciones, se observa una concentración significativa de datos en la clase de error de -5 %, alcanzando un 11 %, mientras que, en las predicciones, la mayor concentración de datos se presenta en la clase de error de 5 %, con un 14 %. Estos resultados ponen de manifiesto la utilidad del indicador de sesgo (bias), ya que evidencia un sesgo positivo en las predicciones, indicando que el modelo tiende a sobreestimar los valores reales. Asimismo, se destaca la limitación del uso del coeficiente de correlación para la evaluación de datos predictivos en este contexto específico.

Figura 8
Distribución de las clases de error para los valores estimados y predictivos del modelo potencial



Nota. Se visualiza la distribución de los residuos de la estimación y predicción, teniendo una distribución más normalizada el caso de la estimación.

4.4.2. Análisis de las Redes Neuronales Artificiales

En esta investigación, buscamos mejorar las predicciones generadas por el modelo de

regresión de potencial, específicamente en la relación entre el diámetro del tocón y el volumen de los árboles. Para lograrlo, implementamos la técnica de redes neuronales artificiales. Esta metodología nos brindó la oportunidad de integrar un conjunto más amplio de variables relacionadas con las características ecológicas presentes en los ecosistemas forestales. Entre estas variables adicionales se incluyeron aspectos climáticos y diversos índices de competencia.

Para garantizar la comparabilidad de los resultados, se utilizó la base de datos de la concesión 1 que fue utilizado al ajustar el modelo potencial, estos datos fueron utilizados para entrenar los algoritmos de las redes neuronales artificiales. Así mismo, se utilizó la misma base de datos de la concesión 2 para evaluar las predicciones generadas por las redes neuronales artificiales.

Se probaron 10 tipos de algoritmos diferentes, estableciendo como variables de entrada (variables independientes) a las variables climáticas e índices de competencia y como variable de salida (variable dependiente) al volumen de los árboles. Se establecieron tres índices de competencia, en la red neuronal fue entrenado 5 veces por cada índice de competencia, estableciendo así 15 modelos de redes neuronales artificiales por cada algoritmo. Se estableció un total de 150 modelos de redes neuronales artificiales y finalmente se escogió un modelo por cada índice de competencia y algoritmo, estableciendo 30 modelos de redes neuronales artificiales.

Se experimentaron con 10 tipos diversos de algoritmos, utilizando variables climáticas e índices de competencia como variables de entrada (variables independientes) y el volumen de los árboles como la variable de salida (variable dependiente). Para cada uno de los tres índices de competencia, se entrenó la red neuronal en cinco iteraciones, lo que resultó en 15 modelos de redes neuronales artificiales para cada algoritmo. En total, se generaron 150 modelos de redes neuronales artificiales. Posteriormente, se seleccionó un modelo representativo por cada índice de competencia y algoritmo, culminando en un conjunto final de 30 modelos de redes neuronales artificiales. El total de modelos generados se puede observar en el anexo 4.

Tabla 13

Desempeño de los indicadores estadísticos de 30 modelos de redes neuronales artificiales en predicciones de volumen de árboles

Modelo	Algoritmo	Índice de competición	R	RQEM (%)	BIAS
RNA1	RPROP+	IID1	0,9207	23,4773	0,5638
RNA2	RPROP+	IID2	0,9224	23,3540	0,5874
RNA3	RPROP+	IID3	0,9169	23,9603	0,5400
RNA4	Backpropagation	IID1	0,9221	23,9093	0,7762
RNA5	Backpropagation	IID2	0,9226	23,0457	0,5020
RNA6	Backpropagation	IID3	0,9172	24,6240	0,8009
RNA7	Quick propagation	IID1	0,9181	23,6614	0,5044
RNA8	Quick propagation	IID2	0,9221	23,2464	0,5507
RNA9	Quick propagation	IID3	0,9155	24,1674	0,5692
RNA10	Algoritmo genético	IID1	0,9075	107,7073	9,0063
RNA11	Algoritmo genético	IID2	0,7316	85,5390	6,5762
RNA12	Algoritmo genético	IID3	0,9146	57,2255	-0,6521
RNA13	Neat	IID1	0,9057	25,5448	0,5984
RNA14	Neat	IID2	0,9228	23,1226	0,5309
RNA15	Neat	IID3	0,9146	24,5066	0,6110
RNA16	Hyperneat	IID1	0,9220	24,6487	0,8848
RNA17	Hyperneat	IID2	0,9224	23,2805	0,5859
RNA18	Hyperneat	IID3	0,9174	24,6403	0,7716
RNA19	RBF Neural Network	IID1	0,9244	22,9469	0,5652
RNA20	RBF Neural Network	IID2	0,9244	22,9469	0,5652
RNA21	RBF Neural Network	IID3	0,9244	22,9469	0,5652
RNA22	Support VectorMachine	IID1	0,9130	24,2107	0,4502
RNA23	Support VectorMachine	IID2	0,9119	24,2681	0,2853
RNA24	Support Vector Machine	IID3	0,9104	24,5378	0,4544
RNA25	Elman	IID1	0,9206	23,3738	0,5261
RNA26	Elman	IID2	0,9210	23,3601	0,4888
RNA27	Elman	IID3	0,9151	23,9552	0,4605
RNA28	Jordan	IID1	0,9150	24,2644	0,5730
RNA29	Jordan	IID2	0,9220	23,3233	0,5637
RNA30	Jordan	IID3	0,9143	24,2626	0,5400

Nota. Se visualiza los estadísticos de ajuste de los diferentes modelos de redes neuronales (RNA). Fuente: elaborado de la base de datos de las Concesiones 1, (Anexo 4)

La tabla 13, muestra los indicadores estadísticos de desempeño de los 30 modelos de redes neuronales artificiales. En este conjunto, los valores de R oscilan entre 0,7316 y 0,9244. Los valores de RECM % se encuentran entre 22,9469 % y 107,7073 %. Los modelos con valores extremadamente altos, como RNA10 y RNA11, sugieren una discrepancia significativa entre las predicciones y los valores reales, lo que indica una baja precisión en

esos casos particulares. Los valores de BIAS varían entre -0,6521 y 9,0063. Aquellos modelos con BIAS cercano a cero tienen una menor tendencia a cometer sesgos sistemáticos en sus predicciones.

En términos generales, se observa una variabilidad en el desempeño de los modelos, donde algunos muestran un alto grado de precisión (R cercano a 1 y RECM % bajo), mientras que otros tienen un desempeño deficiente con altos errores relativos y sesgos pronunciados. La presencia de modelos con R elevados y RECM % bajos indica una buena capacidad predictiva, sin embargo, los indicadores estadísticos no bastan para seleccionar un modelo y tomar decisiones, por ello también fueron analizados sus dispersiones de clases de errores.

En el anexo 5, se presenta la distribución de las clases de error para los 30 modelos seleccionados (Anexo 5). Para determinar cuál modelo se ajusta mejor a los datos predictivos, se consideraron los indicadores estadísticos junto con la concentración de datos en la clase de error de 0 %. En este sentido, el modelo RNA26 destaca al concentrar un 15 % de los datos en la clase de error 0 %, mostrándose como el más adecuado para su aplicación práctica. No obstante, el modelo RNA5 también exhibe condiciones favorables para su uso, al presentar una concentración del 14 % de los datos en la misma clase de error de 0 %. Ambos modelos presentan buenos performances de los indicadores estadísticos.

4.4.3. Análisis comparativo de las predicciones por el modelo potencial y las redes neuronales artificiales

Tabla 14

Comparación del desempeño de los indicadores estadísticos entre modelos de redes neuronales artificiales y modelo potencial en predicciones de volumen de árboles

Modelo	Algoritmo	Índice de competición	Variables climáticas	R	RQEM (%)	BIAS
RNA26	Elman	IID2	Precipitación Total Mensual (mm), Temperatura Máxima Promedio Mensual (C), Temperatura Mínima Promedio Mensual (C), Temperatura Promedio Mensual (C), Humedad Relativa Promedio Mensual (H), Evaporación Total Mensual (mm)	0,9210	23,3601	0,4888
Potencial	No incorporado	No incorporado	No incorporado	0,9268	22,1961	0,3566

Nota. Se muestra los valores de ajuste del valor estimado y predictivo (R, RQEM y BIAS). Fuente: elaborado de la base de datos de las Concesiones 1, (Anexo 4).

La tabla 14, muestra los desempeños de los indicadores estadísticos para la red neuronal seleccionada y para el modelo potencial. El modelo RNA26, utiliza el algoritmo Elman y considera el índice de competición IID2 junto con múltiples variables climáticas, como la precipitación total mensual, las temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales, la humedad relativa y la evaporación total mensual. Presenta un coeficiente de correlación (R) de 0,9210, un error cuadrático medio relativo (RQEM %) de 23,3601 y un sesgo (BIAS) de 0,4888.

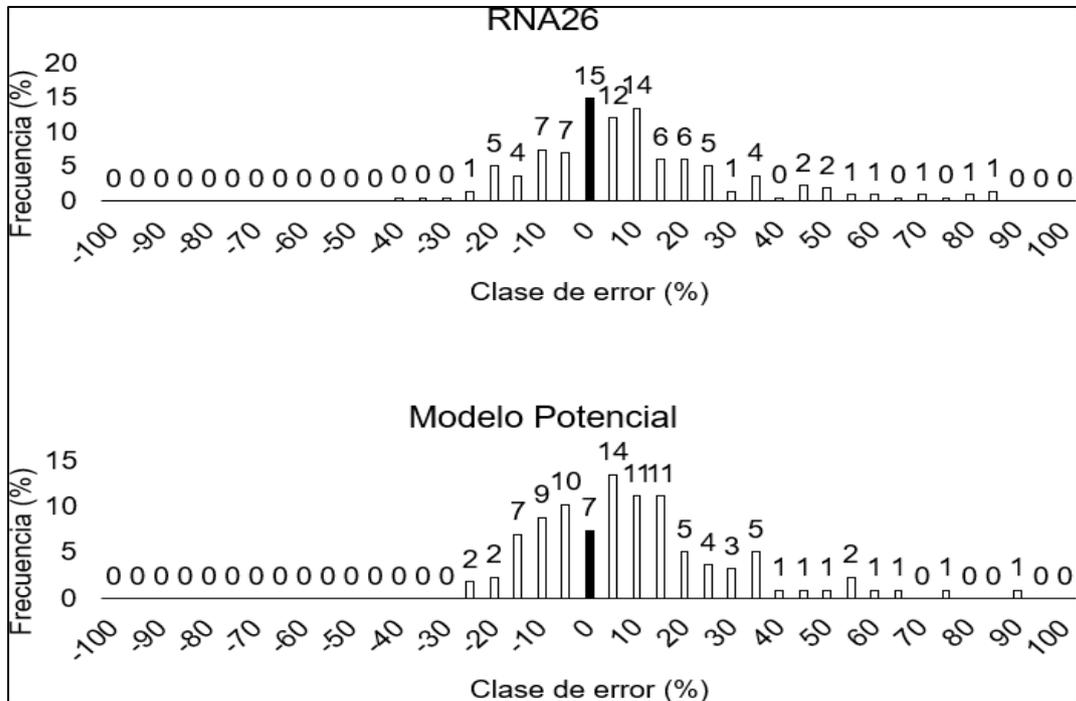
El modelo potencial basado en el método de regresión matemática no incorpora índices de competición ni variables climáticas específicas. A pesar de ello, muestra un coeficiente de correlación (R) ligeramente más alto, alcanzando 0,9268, un error cuadrático medio relativo (RQEM %) menor de 22,1961 y un sesgo (BIAS) de 0,3566.

En términos generales, el modelo potencial sin considerar índices de competición ni variables climáticas específicas parece tener un rendimiento ligeramente superior en términos de correlación y error cuadrático medio relativo. Sin embargo, para análisis de datos forestales, los indicadores estadísticos no son suficientes para tomar decisiones, y perjudica al modelador en el entendimiento práctico. Es importante considerar que el modelo RNA26 ofrece información más detallada al incorporar datos climáticos y de competición, lo que podría ser crucial en aplicaciones prácticas donde se necesite una comprensión más profunda de los factores que influyen en las predicciones. Es por ello por lo que se analizaron las distribuciones de clases de errores.

Al analizar las distribuciones de las clases de error entre el modelo RNA26 y el modelo potencial, emerge una disparidad notable en la concentración de datos en la clase de error de 0 %. El modelo RNA26 exhibe una concentración del 15 % de los datos en esta clase, evidenciando una presencia significativamente mayor en comparación con el modelo potencial, que muestra una concentración del 7 % en la misma categoría. Esta diferencia destaca la robustez del modelo RNA26 al capturar una proporción más sustancial de predicciones precisas, identificadas con la clase de error de 0 %, en contraposición al modelo potencial. Este fenómeno subraya la capacidad del RNA26 para generar predicciones más cercanas a los valores reales en comparación con el modelo potencial, ofreciendo una visión más precisa y confiable en la predicción del volumen de los árboles (Figura 9).

Figura 9

Distribución de las clases de error para los valores predictivos de la red neuronal artificial seleccionada y el modelo potencial



Nota. Se visualiza la distribución de los residuos de la estimación y predicción más adecuado, teniendo una distribución más normalizada el caso de la predicción.

4.5. Discusión

El proyecto de investigación se adentró en la mejora de las predicciones relacionadas con el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, especie de importancia en la región de Mariscal Cáceres - San Martín. Para alcanzar esta meta, se empleó una estrategia integral que involucra el uso de modelos, incluyendo tanto el modelo potencial como redes neuronales artificiales (RNA). Se destaca el despliegue de una RNA que integra un amplio espectro de variables, tales como medidas dasométricas, datos climáticos e índices de competencia, buscando capturar la complejidad de las interacciones en este contexto forestal específico.

El enfoque no solo se limitó al desarrollo de la red neuronal, sino que también se centró en identificar algoritmos óptimos que permitan ajustar y optimizar esta RNA para lograr predicciones más precisas. Además, se realizó una validación estadística exhaustiva para respaldar y verificar la robustez de las predicciones volumétricas obtenidas a través de las redes neuronales y el modelo potencial.

Los estudios relacionados con temáticas similares a la presente investigación aún están en desarrollo, variando en las técnicas y análisis empleados. Si bien hay una falta de estudios que hayan explorado técnicas comparables, se pueden encontrar investigaciones que se enfocan en el uso de la regresión matemática, particularmente el modelo potencial. Por ejemplo, un estudio examinó la estimación del diámetro, altura y volumen de *Quercus laurina* en Ixtlán, Oaxaca, utilizando el diámetro del tocón como variable predictora. Este análisis reveló la capacidad de generar ecuaciones confiables para estimar estas medidas a partir del diámetro del tocón. Específicamente, el modelo potencial mostró una alta bondad de ajuste para la estimación de la altura y el volumen, presentando coeficientes de determinación (R^2) normal y ajustado de 0,98 y 0,98 respectivamente, y el valor de la raíz del error cuadrático medio fue de 0,23 (Martínez-López & Acosta-Ramos, 2014).

En contraste, en nuestra investigación, el modelo potencial también exhibió una alta correlación, con un coeficiente de 0,92 y un error cuadrado medio del 22 %. Sin embargo, a diferencia de este estudio referencial, nuestra validación se basó en predicciones aplicadas a una región diferente a la de los datos de ajuste originales. Asimismo, analizamos la distribución de errores mediante clases de errores, lo que sugiere una posible baja concentración de datos en la clase de 0 %, similar a la observada en nuestro estudio.

El modelo potencial también fue seleccionado como el mejor modelo para estimar el volumen total del árbol a partir del diámetro del tocón para cinco especies de pino estudiadas en El Salto, Durango, México. Además, los autores destacan que los modelos utilizados pueden ser utilizadas para calcular el volumen de árboles cortados que no fueron incluidos en un inventario anterior, así como para evaluar el volumen de árboles robados (Corral-Rivas et al., 2007).

En otro estudio relacionado, se proporcionaron modelos matemáticos fiables para estimar el diámetro normal, altura total y volumen del fuste de especies forestales también en Durango, utilizando como base el diámetro del tocón. Estos modelos mostraron excelentes ajustes estadísticos y fueron considerados herramientas útiles para el inventario y manejo de las poblaciones forestales analizadas. Específicamente, el estudio identificó el modelo potencial en su forma logarítmica como el más efectivo, con un coeficiente de determinación ajustado superior al 90 % y un error cuadrado medio promedio de 0,20 para todas las especies estudiadas (Barraza et al., 2012). En nuestra investigación, al igual que en este estudio de referencia, resaltamos la importancia de validar los modelos con muestras de datos independientes y considerar múltiples parámetros estadísticos para seleccionar los modelos más

adecuados.

La interpretación adecuada de los resultados estadísticos es esencial para comprender el desempeño de los modelos. Es fundamental no solo observar los valores numéricos, sino también comprender su significado contextual y su aplicabilidad práctica. La selección de modelos para aplicaciones prácticas debe basarse en una comprensión integral de los datos, la naturaleza del problema y la idoneidad de los modelos evaluados. La toma de decisiones informadas se logra al considerar no solo la precisión del modelo, sino también su capacidad para generalizar y adaptarse a diferentes contextos (Campos & Leite, 2017).

En entornos forestales, la competencia es una interacción entre árboles que se produce por la lucha por recursos limitados, como la luz, el agua, los nutrientes y el espacio. Esta lucha puede afectar negativamente a la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los individuos en cuestión. La competencia es un proceso ecológico fundamental que desempeña un papel importante en la dinámica de las poblaciones forestales. Puede influir en la composición, estructura y diversidad de las comunidades forestales (Begon & Townsend, 2023).

La incorporación práctica de índices de competición en regresiones matemáticas aún se enfrenta a obstáculos, principalmente debido a la falta de correlación con las variables dependientes y a discrepancias con las suposiciones estadísticas, esto sucede también con diversas variables climáticas. Varios investigadores han subrayado la importancia de considerar tanto variables bióticas como abióticas en los procesos de modelado en entornos forestales. Como resultado, se han explorado otras técnicas, como las redes neuronales artificiales, con el propósito de lograr una consideración más amplia de diversas variables en estos contextos.

Bajo este contexto, la inclusión del índice de competición independiente a distancia, así como variables climáticas, como variables independientes en el modelamiento, ha mostrado buenos resultados en las estimaciones y predicciones. Un estudio, presenta un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la supervivencia y mortalidad de árboles en la selva atlántica en Brasil. El modelo utiliza variables dendrométricas, variables climáticas y el índice de competición para predecir la supervivencia y mortalidad de árboles individuales. Los resultados muestran que el modelo de redes neuronales artificiales tiene una precisión superior al 99 % en la clasificación de árboles supervivientes y no supervivientes, concluyendo que la inclusión de variables climáticas mejora la precisión de la predicción

(Rocha et al., 2018).

En el estudio, la implementación de la red neuronal con variables dendrométricas, climáticas e índices de vegetación, en conjunto con la selección adecuada de algoritmos y la validación estadística contribuyeron significativamente a mejorar las predicciones en la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Esta mejora es crucial para una gestión forestal más precisa y efectiva en la región de Mariscal Cáceres - San Martín. Sin embargo, el modelo potencial en términos prácticos es una salida rápida en la obtención de resultados, siendo ventajosa por solo utilizar variables dendrométricas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El análisis del Inventario Forestal permitió identificar tendencias y patrones en la distribución de especies y densidades poblacionales del bosque en el área de estudio, se inventariaron un total de 1 666 árboles de *Cedrelinga cateniformis*. El análisis del índice de competición entre especies vegetales proporcionó información sobre las relaciones competitivas en el área de estudio. La inclusión de estas variables, así como los datos climáticos, en modelos predictivos mejoró la comprensión de estas relaciones, lo que es fundamental para una gestión forestal efectiva.

El análisis estadístico y la validación de las predicciones volumétricas de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke mediante redes neuronales artificiales permitieron verificar la robustez y la confiabilidad del modelo. Esta validación aportó una comprensión más profunda de la precisión y la capacidad predictiva del modelo en el contexto de la relación volumen de fuste – diámetro del tocón.

La evaluación y análisis comparativo de la eficacia del Modelo Potencial y las Redes Neuronales Artificiales en la predicción demostraron la importancia de considerar diferentes métricas de ajuste y distribuciones de clases de errores, en el modelo potencial se obtuvo un valor de R igual a 0,9268; y con la RNA26, se obtuvo un valor de R igual a 0,9210.

5.2. Recomendaciones

Ampliar el estudio para incluir otras especies forestales y explorar cómo las redes neuronales artificiales (RNA) pueden mejorar las predicciones de relaciones entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón en diferentes especies.

Investigar cómo la inclusión de variables adicionales, como características dasométricas, climáticas, edáficas y topográficas, puede mejorar aún más la precisión de las predicciones en diferentes contextos forestales y para diversas especies.

Realizar estudios longitudinales que permitan evaluar cómo estas relaciones pueden cambiar con el tiempo y bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo.

Aplicar el enfoque metodológico utilizado en este estudio a otras especies forestales de interés económico o ecológico para mejorar las estimaciones de sus características dendrométricas.

Evaluar la transferibilidad de los modelos desarrollados en este estudio a otras especies forestales, considerando las diferencias en las relaciones entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón entre especies.

Integrar los resultados de este estudio en la formulación de planes de manejo forestal, considerando la capacidad de las RNA para mejorar las predicciones sobre las relaciones entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón.

Incorporar un monitoreo continuo de variables dendrométricas, climáticas, edáficas y topográficas en los planes de manejo forestal para comprender mejor las interrelaciones en los ecosistemas forestales y mejorar la gestión sostenible de los recursos forestales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
- Aline, E. M. de A., Ana, C. de A. S., Mayra, L. M. da S., Daniel, H. B. B., Carlos, P. B. S., Jose, M. G., & Helio, G. L. (2018). Use of artificial neural networks to assess yield projection and average production of eucalyptus stands. *African Journal of Agricultural Research*, 13(42), 2285–2297. <https://doi.org/10.5897/ajar2017.12942>
- Baluarte-Vásquez, J. R., & Alvarez-Gonzales, J. G. (2015). Modelamiento del crecimiento de tornillo *Cedrelinga catenaeformis* Ducke en plantaciones en Jenaro Herrera, Departamento de Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 24(1), 21. <https://doi.org/10.24841/fa.v24i1.57>
- Bayat, M., Ghorbanpour, M., Zare, R., Jaafari, A., & Thai Pham, B. (2019). Application of artificial neural networks for predicting tree survival and mortality in the Hyrcanian forest of Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104929>
- Begon, M., & Townsend, C. R. (2023). *Ecología: de individuos a ecosistemas*. Artmed editora.
- Binoti, D. H. B. (2012). *Computer systems applied to forest management* [Tese (Doutorado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologias Utilização de), Universidade Federal de Viçosa]. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/576>
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2006). The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management*, 226(1–3), 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.038>
- Burkhardt, H. E., & Tomé, M. (2012). *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3170-9>
- Bylin, C. V. (1982). *Volume Prediction from Stump Diameter and Stump Height of Selected Species in Louisiana*. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Campos Zumaeta, L. E. (2009). *Dendrocronología en árboles de Tornillo, Cedrelinga cateniformis Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú*. Universidad Nacional Agraria la

Molina.

Campos, J. C. C., & Leite, H. G. (2017). *Forest measurement: Questions and answers* (5th Ed). UFV.

Casas, G. G., Fardin, L. P., Silva, S., de Oliveira Neto, R. R., Breda Binoti, D. H., Leite, R. V., Ramos Domiciano, C. A., de Sousa Lopes, L. S., da Cruz, J. P., dos Reis, T. L., & Leite, H. G. (2022). Improving Yield Projections from Early Ages in Eucalypt Plantations with the Clutter Model and Artificial Neural Networks. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 30(2), 1257–1272. <https://doi.org/10.47836/pjst.30.2.22>

Casas, G. G., Gonzáles, D. G. E., Villanueva, J. R. B., Fardin, L. P., & Leite, H. G. (2022). Configuration of the Deep Neural Network Hyperparameters for the Hypsometric Modeling of the *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. *Forests*, 13(5), 697. <https://doi.org/10.3390/f13050697>

Castellanos Niño, Y., & Marco Renau, J. (2023). *Optimización del aprovechamiento de productos maderables en el departamento del Guaviare. Documento CEDE, (2023-11)* [Universidad de los Andes]. <https://ssrn.com/abstract=4442023>

Castro, R. V. O., Soares, C. P. B., Leite, H. G., de Souza, A. L., Martins, F. B., Nogueira, G. S., & de Oliveira, M. L. R. (2020). Projeção do diâmetro e altura de árvores em uma floresta estacional semidecidual por meio de redes neurais artificiais. *Scientia Forestalis*, 48(125), e3056.

Castro, R. V. O., Soares, C. P. B., Martins, F. B., & Leite, H. G. (2013). Growth and yield of commercial plantations of eucalyptus estimated by two categories of models. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(3), 287–295. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300007>

Cordeiro, M. A., Arce, J. E., Guimarães, F. A. R., Bonete, I. P., Silva, A. V. D. S., Abreu, J. C. D., & Binoti, D. H. B. (2022). Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto utilizando máquinas de vetores de suporte e redes neurais artificiais. *Madera y bosques*, 28(1).

Corral-Rivas, J. J., Barrio-Anta, M., Aguirre-Calderón, O. A., & Diéguez-Aranda, U. (2007). Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 80(1), 29–40. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl048>

Cuevas, X. G., Ramos, J. H., Ramos, A. H., Quiñonez Barraza, G., Carlos, J., Urías, T., Geraldine, G., & Espinoza, G. (2017). Prediction of the normal diameter, height and volume from the stump diameter in tropical species. *Revista Mexicana de Ciencias*

Forestales, 8(43).

- Da Cunha Neto, E. M., Bezerra, J. C. F., de Miranda, L. C., do Mar, A. L., Vaz, M. M., da Silva Melo, M. R., & da Castro Rocha, J. E. (2019). Kozak model and artificial neural networks in eucalyptus fuser sharing estimate. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(3), 150–158.
- Da Rocha, J. E. C., Nogueira, M. R., Da Silva Tavares, I., De Souza, J. R. M., De Sousa Lopes, L. S., & Da Silva, M. L. (2021). Configuration of artificial neural networks for height-diameter relationship of *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 49(132). <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.08>
- Da Silva Tavares Júnior, I., da Rocha, J. E. C., Ebling, ângelo A., de Souza Chaves, A., Zanuncio, J. C., Farias, A. A., & Leite, H. G. (2019). Artificial neural networks and linear regression reduce sample intensity to predict the commercial volume of eucalyptus clones. *Forests*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/f10030268>
- Daviran, M., Shamekhi, M., Ghezelbash, R., & Maghsoudi, A. (2023). Landslide susceptibility prediction using artificial neural networks, SVMs and random forest: hyperparameters tuning by genetic optimization algorithm. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1), 259-276.
- De Oliveira Valente, E., & Valente, G. D. F. S. (2021). Simulação de redes neurais artificiais para estimativa de volume de madeira florestal a partir do DAP. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 3748-3757.
- De Oliveira, B. R., da Silva, A. A. P., Teodoro, L. P. R., de Azevedo, G. B., Azevedo, G. T. de O. S., Baio, F. H. R., Sobrinho, R. L., da Silva Junior, C. A., & Teodoro, P. E. (2021). Eucalyptus growth recognition using machine learning methods and spectral variables. *Forest Ecology and Management*, 497, 119496. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119496>
- Diéguez-Aranda, U., Dorado, F. C., Anta, M. B., & Murias, M. B. (2003). Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. *Forest Systems*, 12(2), 131–139.
- Dos Santos, K. N. F., Rode, R., de Andrade, D. F. C., dos Santos Corrêa, K. K., & de Sousa Lopes, L. S. (2018). Ajuste de equações volumétricas e redes neurais artificiais na estimativa do volume de tauari na floresta nacional do Tapajós. *Revista Agroecossistemas*, 10(1), 1-17.
- Freitas, E. C. S. de, Paiva, H. N. de, Neves, J. C. L., Marcatti, G. E., & Leite, H. G. (2020). Modeling of eucalyptus productivity with artificial neural networks. *Industrial Crops*

- and Products*, 146, 112149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112149>
- García Nieto, P. J., Martínez Torres, J., Araújo Fernández, M., & Ordóñez Galán, C. (2012). Support vector machines and neural networks used to evaluate paper manufactured using *Eucalyptus globulus*. *Applied Mathematical Modelling*, 36(12), 6137–6145. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.02.016>
- Gonçalves, S. B., Fiedler, N. C., Silva, J. P. M., da Silva, G. F., da Silva, M. L. M., Minette, L. J., Pereira, D. P., Lopes, D. M. M., da Silva, E. F., Ramalho, A. H. C., Santos, J. S., Aguiar, M. O., Neto, J. de O. M., & Filho, R. N. de A. (2021). Machine learning techniques to estimate mechanised forest cutting productivity. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 83(4), 276–283. <https://doi.org/10.2989/20702620.2021.1994342>
- Goycochea Casas, G. (2021). *Growth and yield modelling of eucalypt stands using regression, neural network and deep learning* [Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa]. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/27965>
- Guzmán-Santiago, J. C., Santos-Posadas, H. M. D. los, Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., González-Cubas, R., Hernández-Aguilar, J. A., & Bautista-Cruz, A. (2023). Diámetro, altura y volumen en función del tocón para *Abies religiosa* en diferentes regiones de México. *Bosque (Valdivia)*, 44(2), 387–399. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002023000200387>
- Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Hernández-Ramos, A., Tamarit Urias, J. C., Buendía-Rodríguez, E., & Reynoso-Santos, R. (2018). Modelo Para Estimar Altura Total E Índice De Esbeltez A Partir Del Diámetro Para Bursera Simaruba (L.) Sarg. En Quintana Roo, México. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria.*, 492
- Hung, B. M., Phuong, N. T. B., Doanh, L. S., & The Hai, P. (2021). Stump Diameter Characteristics And Volume Prediction For *Acacia Mangium* In Ba Vi, Vietnam. *Journal Of Forestry Science And Technology*, 11..
- Liu, L., Lim, S., Shen, X., & Yebra, M. (2020). Assessment of generalized allometric models for aboveground biomass estimation: A case study in Australia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105610. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105610>
- Martínez-López, J., & Acosta-Ramos, A. (2014). Estimation of diameter, height and volume from the stump diameter for *Quercus laurina*, at Ixtlan, Oaxaca, Mexico. *MaderayBosques*, 20(1),59–70.

- Missouri Botanical Garden. (2024). *Cedrelinga cateniformis*.
<http://legacy.tropicos.org/Name/13008019>
- Montesinos, O. A., Montesinos, A., & Crossa, J. (2022). Fundamentals of Artificial Neural Networks and Deep Learning. En *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction* (pp. 379–425). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0_10
- Parresol, B. R. (1998). Prediction and Error of Baldcypress Stem Volume from Stump Diameter. *Southern Journal of Applied Forestry*, 22(2), 69–73.
<https://doi.org/10.1093/sjaf/22.2.69>
- Pereira, K. D., Carneiro, A. P. S., Santos, G. R. dos, Carneiro, A. de C. O., Leite, H. G., & Borges, F. P. (2021). Study of the influence of wood properties on the charcoal production: applying the random forest algorithm. *Revista Árvore*, 45.
<https://doi.org/10.1590/1806-908820210000002>
- Quiñónez, G., Cruz Cobos, F., Vargas, B., & Hernández, F. J. (2012). Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 23–39.
- Reis, L. P., de Souza, A. L., dos Reis Reis, P. C. M., Mazzei, L., Breda Binoti, D. H., & Leite, H. G. (2018). Prognose Da Distribuição Diamétrica Na Amazônia Utilizando Redes Neurais Artificiais E Autômatos Celulares. *Floresta*, 48(1).
- Rocha, S. J. S. S. da, Torres, C. M. M. E., Jacovine, L. A. G., Leite, H. G., Gelcer, E. M., Neves, K. M., Schettini, B. L. S., Villanova, P. H., Silva, L. F. da, Reis, L. P., & Zanuncio, J. C. (2018). Artificial neural networks: Modeling tree survival and mortality in the Atlantic Forest biome in Brazil. *Science of the Total Environment*, 645, 655–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.123>
- Rodríguez, E. B., Pérez, E. V., Ovalle, Á. L., & Domínguez, S. T. (2002). Aplicación de redes neuronales artificiales y técnicas SIG para la predicción de coberturas forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 31–37.
- Schumacher, F. X., & Hall, F. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, 47(9), 719–734.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., Günlü, A., Bolat, F., & Bulut, S. (2020). Artificial neural network models for predicting relationships between diameter at breast height and stump diameter: Crimean pine stands at ÇAKÜ Forest. *Bosque (Valdivia)*, 41(1), 25–34.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000100025>
- SERFOR. (2020). *Cobertura y pérdida de bosques húmedos amazónicos al 2020*.

- Sierra, Y. (2021, octubre 7). *Perú alcanza cifra de deforestación más alta en los últimos 20 años*. <https://es.mongabay.com/2021/10/peru-aumenta-deforestacion-cifras-bosques/>
- Silva, A. V. D. S., Souza, R. G. T. D., Liarte, G. V. C. C., Pinho, B. C. P., Oliveira, C. P. D., Gonzáles, D. G. E., ... & Abreu, J. C. D. (2022). Modelo de clasificación en diferentes estratos forestales en un entorno de llanura aluvial utilizando redes neuronales artificiales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 19(45), 64-70.
- Silva, S., de Oliveira Neto, S. N., Leite, H. G., de Alcântara, A. E. M., de Oliveira Neto, R. R., & de Souza, G. S. A. (2020). Productivity estimate using regression and artificial neural networks in small familiar areas with agrosilvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 94(6), 2081–2097. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00526-1>
- Soares, C. B. S., Paula Neto, F., & Souza, A. L. (2011). *Dendrometria e inventário florestal*. (2. ed). Universidade Federal de Viçosa.
- Vásquez Rufasto, Yeiner. 2023. «Comportamiento del crecimiento inicial de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, utilizando diferentes dosis de superfosfato triple, en Condorcanqui, Amazonas – Perú». Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5607>
- Vendruscolo, D. G. S., Chaves, A. G. S., Medeiros, R. A., Silva, R. S. da, Souza, H. S., Drescher, R., & Leite, H. G. (2017). Estimativa da altura de árvores de *Tectona grandis* L.f. utilizando regressão e redes neurais artificiais. *Nativa*, 5(1). <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a09>
- Zarate, J. , A. (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*. [Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Forestal Y De Medio Ambiente]. Universidad Nacional de Tumbes.

CAPÍTULO VII
ANEXO

Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Definición	Instrumento	Escala
Independientes	Especie	Nombre científico	Unidad biológica de las plantas (Pinheiro, 2014).	Formato para especialista en reconocimiento de la especie	Nominal
	Diámetro tocón	cm	Diámetro en la base del árbol (Soares et al., 2011)	Formato digital de base de datos de la concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03	De razón
	Temperatura máxima, mínima y media mensual	°C	Nivel térmico de la atmósfera	Formato digital de base de datos climáticos del SENAMHI	De razón
	Precipitación total mensual	mm	Agua formada en la atmósfera que regresa a la superficie terrestre en forma de lluvia	Formato digital de base de datos climáticos del SENAMHI	De razón
	Evapotranspiración total mensual	mm	Transformación del estado líquido a gaseoso	Formato digital de base de datos climáticos del SENAMHI	De razón
	Humedad relativa promedio mensual	%	Distancia vertical de un lugar en referencia a un nivel medio del mar histórico tomado como datum vertical (Vianello & Alves, 2012)	Formato digital de base de datos climáticos del SENAMHI	De razón
Dependientes	Índice de competición	IDD	Interacción entre especies por disputa de crecimiento en un mismo ecosistema (Glover y Holl, 1979)	Procedimiento de índices independientes a la distancia establecido por Glover y Holl en 1979	De razón
	Volumen observado	V _o	Magnitud métrica de tipo escalar, que se puede definir como la extensión de un objeto en su dimensión (Soares et al., 2006)	Formato digital de base de datos de la concesión Forestal Maderable N° 22-SAM/C-J-017-03	De razón
	Volumen estimado	V _e	Volumen que se aproxima a lo observado (Soares et al., 2006)	Red neuronal artificial Modelo potencia	De razón

Anexo 2: Constancia de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Gianmarco Goycochea Casas, identificado con el DNI N° 47163515, actualmente me encuentro desempeñando una estancia doctoral en el Centro de Inteligencia Artificial y Robótica de la Universidad Tecnológica de Malasia, Kuala Lumpur.

Por medio de la presente, certifico que he llevado a cabo una revisión con propósitos de Validación de los instrumentos del Bachiller Deiber Tarrillo Alarcón, pertenecientes a la tesis titulada "Mejoras predictivas en la relación entre el volumen del fuste y el diámetro del tocón de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en Mariscal Cáceres - San Martín".

Los instrumentos sujetos a validación abarcaron diversos aspectos, entre los que se incluyen:

- Manipulación, procesamiento y validación exhaustiva de los datos obtenidos de los inventarios forestales, asegurando su integridad y fiabilidad.
- Procesamiento metodológico y análisis estadístico, aplicados para validar el modelado, asegurando la solidez de los resultados obtenidos.

EVALUACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad: Está formulado con un lenguaje apropiado					X
2. Objetividad: Está expresado en conductas observables					X
3. Actualidad: Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación					X
4. Organización: Existe una organización lógica entre sus ítems					X
5. Suficiencia: Comprende los aspectos necesarios en cantidad y calidad.				X	
6. Intencionalidad: Adecuado para valorar las dimensiones del tema de la investigación					X
7. Consistencia: Basado en aspectos teóricos-científicos de la investigación					X
8. Coherencia: Tiene relación entre las variables e indicadores					X



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

9. Metodología: La estrategia responde a la elaboración de la investigación.						X
--	--	--	--	--	--	---

Como muestra de conformidad, firmo la presente en la ciudad de Kuala Lumpur, Malasia, a los 5 días del mes de junio del año 2024.

Grado: Magíster en Ciencias

DNI: 47163515

Especialidad: Biometría Forestal

Correo electrónico: gianmarco.casas@ufv.br

DNI: 47163515

Especialista en Biometría Forestal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

ANEXO: Ficha técnica del procedimiento de manipulación, procesamiento y validación de datos de inventarios forestales y modelado estadístico

Ficha Técnica

Nombre del Procedimiento:

Manipulación, procesamiento y validación de datos de inventarios forestales / Procesamiento metodológico y análisis estadístico para la validación del modelado.

Objetivo:

Garantizar la integridad, fiabilidad y solidez de los resultados obtenidos a partir de datos de inventarios forestales mediante procesos exhaustivos de manipulación, procesamiento y validación, así como mediante el uso de técnicas metodológicas y estadísticas para validar el modelado.

Componentes:

1. Manipulación, procesamiento y validación de datos de inventarios forestales

1.1. Descripción:

Este componente abarca el proceso completo de manipulación, procesamiento y validación de los datos recolectados durante los inventarios forestales.

1.2. Fases:

- Ingreso de datos: Ingresar los datos recolectados en una base de datos centralizada.
- Limpieza de datos: Identificar y corregir posibles errores o inconsistencias en los datos.
- Validación de datos: Verificar la integridad y fiabilidad de los datos mediante controles de calidad.
- Análisis exploratorio de datos: Realizar un análisis inicial para comprender la distribución y características de los datos.

2. Procesamiento metodológico y análisis estadístico para la validación del modelado

2.1. Descripción:

Este componente se enfoca en el procesamiento metodológico y el análisis estadístico aplicado para validar el modelado de datos.

2.2. Fases:

- Construcción del modelo: Desarrollar el modelo utilizando técnicas estadísticas y metodológicas apropiadas.
- Validación del modelo: Evaluar la solidez y precisión del modelo mediante pruebas estadísticas y técnicas de validación cruzada.
- Interpretación de resultados: Interpretar los resultados del modelado para obtener conclusiones significativas y relevantes.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

- Selección del modelo: Seleccionar el modelo adecuado para el análisis de los datos, considerando las características específicas del estudio.

Responsable:

El responsable de este procedimiento es el equipo de investigación encargado del estudio de inventarios forestales y modelado de datos, bajo la supervisión del asesor principal del Bachiller Deiber Tarrillo Alarcón.

Recursos Necesarios:

Personal capacitado en análisis de datos forestales y modelado estadístico.

Acceso a software especializado en análisis estadístico y modelado de datos.

Datos recolectados durante los inventarios forestales.

Anexo 3 Inventario en las concesiones 1 y 2 con sus respectivas mediciones dendrométricas e índices de competición para cada árbol

RESULTADO DEL INVENTARIO CONCESIÓN 1							CONCESIÓN 2							CONCESIÓN 3						
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	1.400	21.000	26.000	4.009	1.137	4.558	Tornillo	0.950	18.000	23.000	0.850	0.974	0.828	Tornillo	1.480	20.000	22.364	5.838	1.082	6.320
Tornillo	1.270	20.000	25.000	2.715	1.083	2.940	Tornillo	1.800	22.000	27.000	10.956	1.191	13.049	Tornillo	1.050	23.000	12.945	1.479	1.245	1.841
Tornillo	1.200	22.000	27.000	2.164	1.191	2.578	Tornillo	0.970	17.000	22.000	0.924	0.920	0.850	Tornillo	0.670	23.000	5.271	0.245	1.245	0.305
Tornillo	1.800	23.000	28.000	10.956	1.245	13.642	Tornillo	0.700	18.000	23.000	0.251	0.974	0.244	Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.991	1.082	1.073
Tornillo	0.940	17.000	22.000	0.815	0.920	0.750	Tornillo	0.700	17.000	22.000	0.251	0.920	0.231	Tornillo	0.610	20.000	3.799	0.168	1.082	0.82
Tornillo	0.610	18.000	23.000	0.145	0.974	0.141	Tornillo	0.710	18.000	23.000	0.265	0.974	0.258	Tornillo	1.350	25.000	23.260	4.042	1.353	5.469
Tornillo	1.240	18.000	23.000	2.468	0.974	2.404	Tornillo	1.470	22.000	27.000	4.874	1.191	5.804	Tornillo	1.000	21.000	10.721	1.217	1.137	1.383
Tornillo	0.700	18.000	23.000	0.251	0.974	0.244	Tornillo	0.820	18.000	23.000	0.472	0.974	0.460	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.700	19.000	24.000	0.251	1.029	0.258	Tornillo	0.900	18.000	23.000	0.685	0.974	0.667	Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164
Tornillo	1.100	22.000	27.000	1.528	1.191	1.820	Tornillo	1.200	19.000	24.000	2.164	1.029	2.226	Tornillo	1.300	20.000	17.255	3.476	1.082	3.762
Tornillo	0.700	16.000	21.000	0.251	0.866	0.217	Tornillo	0.810	20.000	25.000	0.449	1.083	0.486	Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.498	1.082	0.540
Tornillo	1.530	18.000	23.000	5.719	0.974	5.573	Tornillo	1.140	19.000	24.000	1.763	1.029	1.813	Tornillo	0.970	17.000	8.166	1.077	0.920	0.991
Tornillo	1.750	18.000	23.000	9.789	0.974	9.539	Tornillo	0.620	19.000	24.000	0.154	1.029	0.159	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	1.200	17.000	22.000	2.164	0.920	1.992	Tornillo	0.930	20.000	25.000	0.781	1.083	0.845	Tornillo	0.870	20.000	7.728	0.697	1.082	0.755
Tornillo	1.100	14.000	19.000	1.528	0.758	1.158	Tornillo	1.620	20.000	25.000	7.188	1.083	7.783	Tornillo	1.250	20.000	15.953	2.971	1.082	3.216
Tornillo	0.950	18.000	23.000	0.850	0.974	0.828	Tornillo	1.220	20.000	25.000	2.312	1.083	2.503	Tornillo	1.350	20.000	18.608	4.042	1.082	4.376
Tornillo	1.360	22.000	27.000	3.571	1.191	4.252	Tornillo	1.020	20.000	25.000	1.130	1.083	1.223	Tornillo	0.980	20.000	9.806	1.122	1.082	1.215
Tornillo	1.400	20.000	25.000	4.009	1.083	4.341	Tornillo	1.220	20.000	25.000	2.312	1.083	2.503	Tornillo	1.050	19.000	10.694	1.479	1.028	1.521
Tornillo	0.660	19.000	24.000	0.198	1.029	0.204	Tornillo	1.020	17.000	22.000	1.130	0.920	1.040	Tornillo	1.100	20.000	12.354	1.782	1.082	1.928
Tornillo	1.100	23.000	28.000	1.528	1.245	1.903	Tornillo	0.800	18.000	23.000	0.427	0.974	0.417	Tornillo	1.100	20.000	12.354	1.782	1.082	1.928
Tornillo	1.050	27.000	32.000	1.528	1.462	1.854	Tornillo	1.320	18.000	23.000	3.169	0.974	3.088	Tornillo	1.200	19.000	13.968	2.523	1.028	2.595
Tornillo	1.100	14.000	19.000	1.528	0.758	1.158	Tornillo	1.800	17.000	22.000	10.956	0.920	10.083	Tornillo	0.830	20.000	7.034	0.578	1.082	0.625
Tornillo	1.130	14.000	19.000	1.702	0.758	1.290	Tornillo	1.800	20.000	25.000	10.956	1.083	11.863	Tornillo	1.300	20.000	17.255	3.476	1.082	3.762
Tornillo	0.900	19.000	24.000	0.685	1.029	0.704	Tornillo	1.020	22.000	27.000	1.130	1.191	1.345	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.940	20.000	25.000	0.815	1.083	0.882	Tornillo	0.700	18.000	23.000	0.251	0.974	0.244	Tornillo	0.900	20.000	8.270	0.798	1.082	0.864
Tornillo	1.400	18.000	23.000	4.009	0.974	3.907	Tornillo	1.500	18.000	23.000	5.284	0.974	5.149	Tornillo	0.980	20.000	9.806	1.122	1.082	1.215
Tornillo	0.880	21.000	26.000	0.626	1.137	0.712	Tornillo	1.000	19.000	24.000	1.044	1.029	1.074	Tornillo	1.130	20.000	13.037	1.984	1.082	2.148
Tornillo	0.880	18.000	23.000	0.626	0.974	0.610	Tornillo	0.810	17.000	22.000	0.449	0.920	0.413	Tornillo	1.540	20.000	24.215	6.844	1.082	7.408
Tornillo	1.100	20.000	25.000	1.528	1.083	1.654	Tornillo	1.100	22.000	27.000	1.528	1.191	1.820	Tornillo	1.100	22.000	13.590	1.782	1.191	2.121
Tornillo	0.760	18.000	23.000	0.348	0.974	0.339	Tornillo	0.800	20.000	25.000	0.427	1.083	0.463	Tornillo	1.630	20.000	27.127	8.590	1.082	9.298
Tornillo	0.850	19.000	24.000	0.545	1.029	0.560	Tornillo	0.700	20.000	25.000	0.251	1.083	0.271	Tornillo	0.700	12.000	3.002	0.292	0.649	0.190
Tornillo	1.300	24.000	29.000	2.981	1.299	3.873	Tornillo	1.900	23.000	28.000	13.602	1.245	16.936	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.890	17.000	22.000	0.655	0.920	0.603	Tornillo	0.610	18.000	23.000	0.145	0.974	0.141	Tornillo	1.270	18.000	14.821	3.166	0.974	3.084
Tornillo	1.330	24.000	29.000	3.266	1.299	4.243	Tornillo	0.700	15.000	20.000	0.251	0.812	0.203	Tornillo	0.900	20.000	8.270	0.798	1.082	0.864
Tornillo	0.880	17.000	22.000	0.626	0.920	0.576	Tornillo	0.900	20.000	25.000	0.685	1.083	0.741	Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.498	1.082	0.540
Tornillo	0.730	12.000	17.000	0.296	0.650	0.193	Tornillo	1.600	20.000	25.000	6.840	1.083	7.406	Tornillo	0.900	18.000	7.443	0.798	0.974	0.778
Tornillo	1.180	18.000	23.000	2.023	0.974	1.972	Tornillo	0.900	20.000	8.270	0.798	1.082	0.864	Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.260	0.974	0.253
Tornillo	0.830	17.000	22.000	0.495	0.920	0.456	Tornillo	0.620	17.000	3.336	0.180	0.920	0.165	Tornillo	0.610	20.000	3.799	0.168	1.082	0.182
Tornillo	0.700	17.000	22.000	0.251	0.920	0.231	Tornillo	0.900	18.000	7.443	0.798	0.974	0.778	Tornillo	1.350	19.000	17.678	4.042	1.028	4.156
Tornillo	1.800	24.000	29.000	10.956	1.299	14.235	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.165	Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.260	0.974	0.253
Tornillo	0.850	19.000	24.000	0.545	1.029	0.560	Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164	Tornillo	0.900	19.000	7.857	0.798	1.028	0.821
Tornillo	0.700	17.000	22.000	0.251	0.920	0.231	Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164	Tornillo	1.000	18.000	9.189	1.217	0.974	1.185
Tornillo	1.400	23.000	28.000	4.009	1.245	4.992	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155	Tornillo	1.050	22.000	12.382	1.479	1.191	1.761
Tornillo	1.200	18.000	23.000	2.164	0.974	2.109	Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.498	0.974	0.486	Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537
Tornillo	1.100	21.000	26.000	1.528	1.137	1.737	Tornillo	0.750	18.000	5.169	0.385	0.974	0.375	Tornillo	0.800	16.000	5.228	0.498	0.866	0.432
Tornillo	1.170	19.000	24.000	1.956	1.029	2.012	Tornillo	1.800	20.000	33.081	12.774	1.082	13.827	Tornillo	0.700	19.000	4.753	0.292	1.028	0.300
Tornillo	1.200	19.000	24.000	2.164	1.029	2.226	Tornillo	2.140	20.000	46.759	25.521	1.082	27.625	Tornillo	1.100	19.000	11.737	1.782	1.028	1.832
Tornillo	0.790	17.000	22.000	0.407	0.920	0.374	Tornillo	1.070	19.000	11.105	1.595	1.028	1.640	Tornillo	0.980	20.000	9.806	1.122	1.082	1.215
Tornillo	1.100	16.000	21.000	1.528	0.866	1.324	Tornillo	1.250	18.000	14.358	2.971	0.974	2.894	Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212
Tornillo	1.200	16.000	21.000	2.164	0.866	1.875	Tornillo	0.620	17.000	3.336	0.180	0.920	0.165	Tornillo	1.100	20.000	12.354	1.782	1.082	1.928
Tornillo	0.610	18.000	23.000	0.145	0.974	0.141	Tornillo	0.900	18.000	7.443	0.798	0.974	0.778	Tornillo	0.610	20.000	3.799	0.168	1.082	0.182
Tornillo	1.000	18.000	23.000	1.044	0.974	1.017	Tornillo	1.400	25.000	25.015	4.675	1.353	6.325	Tornillo	1.200	20.000	14.703	2.523	1.082	2.731
Tornillo	0.750	16.000	21.000	0.330	0.866	0.286	Tornillo	1.150	20.000	13.503	2.128	1.082	2.304	Tornillo	0.830	20.000	7.034	0.578	1.082	0.625
Tornillo	1.300	18.000	23.000	2.981	1.083	2.905	Tornillo	0.900	16.000	6.616	0.798	0.866	0.691	Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164
Tornillo	1.250	18.000	23.000	2.548	0.974	2.483	Tornillo	1.200	18.000	13.232	2.523	0.974	2.458	Tornillo	1.200	19.000	13.968	2.523	1.028	2.595
Tornillo	1.400	16.000	21.000	4.009	0.866	3.473	Tornillo	1.100	18.000	11.219	1.782	0.974	1.736	Tornillo	0.870	18.000	6.955	0.697	0.974	0.679
Tornillo	1.600	18.000	23.000	6.840	0.974	6.665	Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212	Tornillo	0.700	20.000				

RESULTADO DEL INVENTARIO CONCESION 1																				
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.800	22.000	7.188	0.498	1.191	0.593	Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.292	0.920	0.269	Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164
Tornillo	1.050	19.000	10.694	1.479	1.028	1.521	Tornillo	0.760	22.000	6.487	0.406	1.191	0.483	Tornillo	0.970	16.000	7.685	1.077	0.866	0.933
Tornillo	1.100	19.000	11.737	1.782	1.028	1.832	Tornillo	1.400	25.000	25.015	4.675	1.353	6.325	Tornillo	0.950	22.000	10.136	0.991	1.191	1.180
Tornillo	1.070	22.000	12.859	1.595	1.191	1.899	Tornillo	1.200	26.000	19.113	2.523	1.407	3.551	Tornillo	0.610	20.000	3.799	0.168	1.082	0.182
Tornillo	0.700	19.000	4.753	0.292	1.028	0.300	Tornillo	1.000	19.000	9.700	1.217	1.028	1.251	Tornillo	1.400	22.000	22.013	4.675	1.191	5.566
Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.991	1.082	1.073	Tornillo	1.050	20.000	11.257	1.479	1.082	1.601	Tornillo	0.650	19.000	4.098	0.217	1.028	0.223
Tornillo	0.760	18.000	5.308	0.406	0.974	0.395	Tornillo	1.200	18.000	13.232	2.523	0.974	2.458	Tornillo	1.080	22.000	13.100	1.656	1.191	1.971
Tornillo	1.000	22.000	11.231	1.217	1.191	1.449	Tornillo	0.820	15.000	5.149	0.550	0.812	0.447	Tornillo	0.700	18.000	4.503	0.292	0.974	0.285
Tornillo	1.240	20.000	15.699	2.877	1.082	3.114	Tornillo	1.100	17.000	10.501	1.782	0.920	1.639	Tornillo	1.400	20.000	20.012	4.675	1.082	5.060
Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155	Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537	Tornillo	1.000	20.000	10.210	1.217	1.082	1.317
Tornillo	0.700	18.000	4.503	0.292	0.974	0.285	Tornillo	1.330	24.000	21.673	3.808	1.299	4.946	Tornillo	0.820	22.000	7.552	0.550	1.191	0.655
Tornillo	0.780	20.000	6.212	0.450	1.082	0.488	Tornillo	0.630	18.000	3.647	0.192	0.974	0.187	Tornillo	1.100	21.000	12.972	1.782	1.137	2.025
Tornillo	0.700	18.000	4.503	0.292	0.974	0.285	Tornillo	1.500	22.000	25.270	6.161	1.191	7.335	Tornillo	1.000	18.000	9.189	1.217	0.974	1.185
Tornillo	0.950	18.000	8.293	0.991	0.974	0.966	Tornillo	0.730	18.000	4.897	0.346	0.974	0.337	Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.292	0.920	0.269
Tornillo	0.800	17.000	5.554	0.498	0.920	0.459	Tornillo	0.730	21.000	5.713	0.346	1.137	0.393	Tornillo	1.500	20.000	22.973	6.161	1.082	6.668
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.498	1.082	0.540	Tornillo	0.880	20.000	7.907	0.730	1.082	0.790	Tornillo	1.700	21.000	30.983	10.164	1.137	11.551
Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.292	0.920	0.269	Tornillo	1.320	25.000	22.238	3.694	1.353	4.999	Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537
Tornillo	1.250	20.000	15.953	2.971	1.082	3.216	Tornillo	1.640	23.000	31.581	8.803	1.245	10.958	Tornillo	0.900	18.000	7.443	0.798	0.974	0.778
Tornillo	0.800	21.000	6.861	0.498	1.137	0.566	Tornillo	1.050	25.000	14.071	1.479	1.353	2.001	Tornillo	1.000	19.000	9.700	1.217	1.028	1.251
Tornillo	0.930	18.000	7.948	0.910	0.974	0.887	Tornillo	1.200	27.000	19.849	2.523	1.461	3.687	Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.292	0.920	0.269
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.498	0.974	0.486	Tornillo	1.740	18.000	27.821	11.154	0.974	10.866	Tornillo	1.400	22.000	22.013	4.675	1.191	5.566
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.498	0.974	0.486	Tornillo	1.200	22.000	16.173	2.523	1.191	3.004	Tornillo	0.610	17.000	3.039	0.168	0.866	0.146
Tornillo	1.200	19.000	13.968	2.523	1.028	2.595	Tornillo	1.600	24.000	31.366	7.975	1.299	10.359	Tornillo	1.450	20.000	21.467	5.379	1.082	5.823
Tornillo	1.200	20.000	14.703	2.523	1.082	2.731	Tornillo	1.100	20.000	12.354	1.782	1.082	1.928	Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.498	0.974	0.486
Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212	Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.991	1.082	1.073	Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.498	1.082	0.540
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.498	1.082	0.540	Tornillo	1.100	22.000	13.590	1.782	1.191	2.121	Tornillo	1.100	18.000	11.119	1.782	0.974	1.736
Tornillo	0.610	19.000	3.609	0.168	1.028	0.173	Tornillo	1.290	23.000	19.539	3.370	1.245	4.195	Tornillo	0.890	18.000	7.279	0.764	0.974	0.744
Tornillo	0.980	19.000	9.316	1.122	1.028	1.154	Tornillo	1.220	25.000	18.996	2.696	1.353	3.648	Tornillo	0.950	18.000	8.293	0.991	0.974	0.966
Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.260	0.974	0.253	Tornillo	1.250	18.000	14.358	2.971	0.974	2.894	Tornillo	1.370	22.000	21.080	4.287	1.191	5.104
Tornillo	0.700	18.000	4.503	0.292	0.974	0.285	Tornillo	1.050	27.000	15.197	1.479	1.461	2.161	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.610	18.000	3.419	0.168	0.974	0.164	Tornillo	1.480	25.000	27.956	5.838	1.353	7.900	Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212
Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212	Tornillo	0.630	17.000	3.445	0.192	0.920	0.176	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	1.250	20.000	15.953	2.971	1.082	3.216	Tornillo	0.680	16.000	3.777	0.260	0.866	0.225	Tornillo	1.400	20.000	20.012	4.675	1.082	5.060
Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212	Tornillo	1.150	25.000	16.879	2.128	1.353	2.880	Tornillo	0.730	17.000	4.625	0.346	0.920	0.318
Tornillo	0.650	15.000	3.235	0.217	0.812	0.176	Tornillo	0.960	24.000	11.292	1.034	1.299	1.342	Tornillo	1.230	22.000	16.992	2.785	1.191	3.316
Tornillo	1.440	22.000	23.289	5.232	1.191	6.230	Tornillo	1.060	26.000	14.914	1.536	1.407	2.162	Tornillo	1.400	21.000	21.013	4.675	1.137	5.313
Tornillo	1.100	25.000	15.443	1.782	1.353	2.411	Tornillo	0.620	20.000	3.925	0.180	1.082	0.195	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.940	25.000	11.277	0.950	1.353	1.285	Tornillo	0.610	19.000	3.609	0.168	1.028	0.173	Tornillo	1.400	20.000	20.012	4.675	1.082	5.060
Tornillo	0.950	25.000	11.518	0.991	1.353	1.341	Tornillo	1.750	22.000	34.396	11.413	1.191	13.589	Tornillo	1.400	22.000	22.013	4.675	1.191	5.566
Tornillo	1.300	22.000	18.981	3.476	1.191	4.138	Tornillo	1.400	25.000	25.015	4.675	1.353	6.325	Tornillo	1.000	18.000	9.189	1.217	0.974	1.185
Tornillo	1.800	23.000	38.043	12.774	1.245	15.901	Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537	Tornillo	0.750	18.000	5.169	0.385	0.974	0.375
Tornillo	1.410	22.000	22.329	4.810	1.191	5.727	Tornillo	1.420	18.000	18.529	4.948	0.974	4.820	Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.217	0.974	0.212
Tornillo	0.850	20.000	7.377	0.635	1.082	0.688	Tornillo	1.090	22.000	13.344	1.718	1.191	2.045	Tornillo	1.100	18.000	11.119	1.782	0.974	1.736
Tornillo	1.600	22.000	28.752	7.975	1.191	9.496	Tornillo	1.050	18.000	10.131	1.479	0.974	1.441	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	1.350	20.000	18.608	4.042	1.082	4.375	Tornillo	1.060	23.000	13.193	1.536	1.245	1.912	Tornillo	1.100	18.000	11.119	1.782	0.974	1.736
Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537	Tornillo	1.500	18.000	20.676	6.161	0.974	6.001	Tornillo	0.650	17.000	3.667	0.217	0.920	0.200
Tornillo	1.450	23.000	24.687	5.379	1.245	6.696	Tornillo	1.400	27.000	27.016	4.675	1.461	6.831	Tornillo	1.890	20.000	36.472	15.527	1.082	16.807
Tornillo	1.050	18.000	10.131	1.479	0.974	1.441	Tornillo	1.600	20.000	26.138	7.975	1.082	8.632	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155
Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.991	1.082	1.073	Tornillo	1.250	22.000	17.549	2.971	1.191	3.537	Tornillo	1.050	18.000	10.131	1.479	0.974	1.441
Tornillo	1.300	25.000	21.569	3.476	1.353	4.703	Tornillo	0.900	16.000	6.616	0.798	0.866	0.691	Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.260	0.974	0.253
Tornillo	1.050	22.000	12.382	1.479	1.191	1.761	Tornillo	1.300	15.000	12.941	3.476	0.812	2.822	Tornillo	1.450	22.000	23.614	5.379	1.191	6.403
Tornillo	0.620	16.000	3.140	0.180	0.866	0.156	Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.168	0.920	0.155	Tornillo	0.900	22.000	9.997	0.798	1.191	0.951
Tornillo	0.700	20.000	5.003	0.292	1.082	0.316	Tornillo	0.950	25.000	11.518	0.991	1.353	1.341	Tornillo	0.780	18.000	5.591	0.450	0.974	0.439
Tornillo	1.570	14.000	17.617	7.393	0.758	5.602	Tornillo	1.650	23.000	31.967	9.020	1.245	11.227	Tornillo	1.600	20.000	26.138	7.975	1.082	8.632
Tornillo	0.620	18.000	3.532	0.180	0.974	0.175	Tornillo	1.800	27.000	44.659	12.774	1.461	18.667	Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.292	0.920	0.269
Tornillo	0.900	15.000	6.203	0.798	0.812	0.648	Tornillo	1.000	24.000	12.252	1.217	1.299	1.581	Tornillo	0.900	18.000	7.443	0.798	0.974	0.778
Tornillo	0.900	12.000	4.962	0.798	0.649	0.519	Tornillo	1.200	22.000	16.173	2.523	1.191	3.004	Tornillo	0.650	17.000	3.667	0.217	0.920	0.200
Tornillo	1.300	23.000	19.844	3.476	1.245	4.326	Tornillo	1.10												

RESULTADO DEL INVENTARIO				CONCESIÓN I		
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.950	26.000	11.979	0.473	1.323	0.625
Tornillo	0.850	20.000	7.377	0.303	1.018	0.308
Tornillo	1.240	26.000	20.409	1.372	1.323	1.815
Tornillo	1.620	29.000	38.854	3.996	1.476	5.898
Tornillo	0.900	23.000	9.511	0.381	1.171	0.446
Tornillo	0.890	24.000	9.705	0.364	1.222	0.445
Tornillo	1.300	23.000	19.844	1.657	1.171	1.940
Tornillo	1.300	24.000	20.706	1.657	1.222	2.024
Tornillo	1.900	28.000	51.602	7.561	1.425	10.776
Tornillo	1.400	30.000	30.018	2.229	1.527	3.403
Tornillo	1.000	15.000	7.658	0.580	0.764	0.443
Tornillo	1.180	28.000	19.903	1.125	1.425	1.603
Tornillo	1.220	23.000	17.476	1.285	1.171	1.505
Tornillo	0.970	23.000	11.048	0.514	1.171	0.601
Tornillo	1.300	26.000	22.432	1.657	1.323	2.193
Tornillo	1.050	22.000	12.382	0.705	1.120	0.790
Tornillo	0.800	22.000	7.188	0.238	1.120	0.266
Tornillo	1.000	22.000	11.231	0.580	1.120	0.650
Tornillo	1.180	20.000	14.217	1.125	1.018	1.145
Tornillo	1.130	18.000	11.734	0.946	0.916	0.867
Tornillo	1.200	25.000	18.378	1.203	1.273	1.531
Tornillo	1.030	17.000	9.207	0.653	0.865	0.565
Tornillo	1.080	20.000	11.909	0.789	1.018	0.804
Tornillo	1.600	25.000	32.673	3.802	1.273	4.838
Tornillo	1.050	15.000	8.443	0.705	0.764	0.538
Tornillo	1.380	24.000	23.333	2.104	1.222	2.570
Tornillo	1.380	22.000	21.389	2.104	1.120	2.356
Tornillo	1.180	19.000	13.506	1.125	0.967	1.088
Tornillo	1.220	26.000	19.756	1.285	1.323	1.701
Tornillo	0.910	27.000	11.414	0.398	1.374	0.547
Tornillo	1.560	20.000	24.848	3.436	1.018	3.498
Tornillo	1.090	28.000	16.983	0.819	1.425	1.167
Tornillo	1.080	26.000	15.482	0.789	1.323	1.045
Tornillo	1.000	15.000	7.658	0.580	0.764	0.443
Tornillo	1.180	26.000	18.482	1.125	1.323	1.489
Tornillo	1.080	24.000	14.291	0.789	1.222	0.964
Tornillo	1.140	24.000	15.923	0.980	1.222	1.197
Tornillo	2.050	26.000	55.781	10.246	1.323	13.560
Tornillo	1.500	28.000	32.162	2.937	1.425	4.186
Tornillo	1.330	28.000	25.285	1.815	1.425	2.587
Tornillo	1.550	28.000	34.342	3.349	1.425	4.773
Tornillo	1.410	18.000	18.269	2.293	0.916	2.101
Tornillo	1.780	26.000	42.055	5.824	1.323	7.708
Tornillo	1.310	26.000	22.778	1.709	1.323	2.261
Tornillo	1.170	26.000	18.170	1.087	1.323	1.439
Tornillo	1.150	26.000	17.554	1.015	1.323	1.343
Tornillo	1.800	29.000	47.968	6.090	1.476	8.990
Tornillo	2.000	28.000	57.177	9.283	1.425	13.230
Tornillo	1.020	24.000	12.747	0.628	1.222	0.767
Tornillo	2.050	26.000	55.781	10.246	1.323	13.560
Tornillo	1.430	20.000	20.879	2.426	1.018	2.470
Tornillo	0.860	15.000	5.664	0.317	0.764	0.242
Tornillo	1.520	28.000	33.026	3.097	1.425	4.414
Tornillo	1.260	26.000	21.073	1.462	1.323	1.935
Tornillo	1.000	25.000	12.763	0.580	1.273	0.738
Tornillo	1.200	22.000	16.173	1.203	1.120	1.347
Tornillo	1.070	26.000	15.197	0.760	1.323	1.006
Tornillo	1.000	26.000	13.273	0.580	1.323	0.768
Tornillo	1.420	25.000	25.735	2.359	1.273	3.002
Tornillo	1.360	26.000	24.550	1.985	1.323	2.627
Tornillo	1.230	25.000	19.309	1.328	1.273	1.690
Tornillo	1.740	28.000	43.277	5.318	1.425	7.579
Tornillo	1.380	27.000	26.250	2.104	1.374	2.892
Tornillo	1.060	28.000	16.061	0.732	1.425	1.044
Tornillo	1.110	25.000	15.725	0.881	1.273	1.121
Tornillo	1.240	27.000	21.194	1.372	1.374	1.885
Tornillo	1.410	20.000	20.299	2.293	1.018	2.334
Tornillo	1.050	22.000	12.382	0.705	1.120	0.790
Tornillo	1.870	28.000	49.986	7.094	1.425	10.111
Tornillo	1.800	24.000	39.697	6.090	1.222	7.440
Tornillo	1.100	18.000	11.119	0.849	0.916	0.778
Tornillo	1.340	27.000	24.750	1.871	1.374	2.571
Tornillo	1.260	27.000	21.883	1.462	1.374	2.010
Tornillo	1.420	22.000	22.647	2.359	1.120	2.642
Tornillo	1.570	26.000	32.717	3.525	1.323	4.665
Tornillo	2.150	28.000	66.075	12.397	1.425	17.668
Tornillo	0.890	27.000	10.918	0.364	1.374	0.500
Tornillo	1.210	24.000	17.939	1.244	1.222	1.519
Tornillo	1.270	26.000	21.408	1.509	1.323	1.997
Tornillo	1.130	27.000	17.600	0.946	1.374	1.300
Tornillo	1.000	25.000	12.763	0.580	1.273	0.738
Tornillo	1.320	26.000	23.127	1.761	1.323	2.331
Tornillo	0.850	20.000	7.377	0.303	1.018	0.308
Tornillo	0.840	26.000	9.366	0.289	1.323	0.382
Tornillo	0.950	22.000	10.136	0.473	1.120	0.529
Tornillo	1.090	28.000	16.983	0.819	1.425	1.167
Tornillo	1.160	27.000	18.547	1.050	1.374	1.444
Tornillo	1.320	27.000	24.017	1.761	1.374	2.421
Tornillo	0.910	26.000	10.992	0.398	1.323	0.527
Tornillo	1.270	26.000	21.408	1.509	1.323	1.997

Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	1.700	17.000	25.081	4.846	0.865	4.193
Tornillo	1.220	32.000	24.315	1.285	1.629	2.093
Tornillo	0.810	19.000	6.364	0.250	0.967	0.242
Tornillo	1.180	30.000	21.325	1.125	1.527	1.718
Tornillo	0.830	27.000	9.496	0.275	1.374	0.378
Tornillo	1.680	26.000	37.462	4.622	1.323	6.116
Tornillo	1.630	29.000	39.335	4.095	1.476	6.045
Tornillo	2.040	28.000	59.487	10.048	1.425	14.320
Tornillo	1.930	27.000	51.343	8.050	1.374	11.063
Tornillo	1.350	30.000	27.912	1.927	1.527	2.943
Tornillo	1.200	24.000	17.643	1.203	1.222	1.470
Tornillo	1.010	29.000	15.102	0.604	1.476	0.891
Tornillo	1.360	29.000	27.383	1.985	1.476	2.930
Tornillo	1.610	27.000	35.729	3.898	1.374	5.357
Tornillo	1.330	30.000	27.091	1.815	1.527	2.772
Tornillo	1.270	29.000	23.879	1.509	1.476	2.228
Tornillo	1.950	29.000	56.295	8.389	1.476	12.383
Tornillo	1.120	22.000	14.088	0.913	1.120	1.022
Tornillo	1.880	26.000	46.913	7.247	1.323	9.591
Tornillo	1.380	23.000	22.361	2.104	1.171	2.463
Tornillo	1.150	12.000	8.102	1.015	0.601	0.620
Tornillo	1.230	24.000	18.536	1.328	1.222	1.622
Tornillo	1.340	23.000	21.083	1.871	1.171	2.190
Tornillo	1.340	24.000	22.000	1.871	1.222	2.285
Tornillo	1.250	33.000	26.323	1.416	1.680	2.379
Tornillo	1.010	22.000	11.457	0.604	1.120	0.676
Tornillo	0.750	25.000	7.179	0.184	1.273	0.234
Tornillo	1.290	28.000	23.787	1.607	1.425	2.290
Tornillo	1.300	23.000	19.844	1.657	1.171	1.940
Tornillo	1.760	26.000	41.115	5.567	1.323	7.367
Tornillo	1.600	29.000	37.900	3.802	1.476	5.612
Tornillo	1.300	20.000	17.255	1.657	1.018	1.687
Tornillo	2.210	25.000	62.335	13.840	1.273	17.611
Tornillo	1.100	24.000	14.825	0.849	1.222	1.038
Tornillo	1.630	23.000	31.197	4.095	1.171	4.795
Tornillo	1.080	32.000	19.055	0.789	1.629	1.286
Tornillo	1.670	27.000	38.442	4.513	1.374	6.202
Tornillo	2.000	27.000	55.135	9.283	1.374	12.757
Tornillo	0.900	13.000	5.376	0.381	0.662	0.252
Tornillo	0.880	27.000	10.674	0.348	1.374	0.478
Tornillo	1.020	21.000	11.154	0.628	1.069	0.671
Tornillo	1.180	24.000	17.060	1.125	1.222	1.374
Tornillo	1.450	27.000	28.980	2.565	1.374	3.525
Tornillo	0.980	22.000	10.786	0.535	1.120	0.599
Tornillo	1.210	24.000	17.939	1.244	1.222	1.519
Tornillo	1.290	24.000	20.389	1.607	1.222	1.963
Tornillo	1.280	12.000	10.037	1.557	0.611	0.951
Tornillo	1.480	24.000	26.837	2.784	1.222	3.400
Tornillo	1.430	22.000	22.967	2.426	1.120	2.717
Tornillo	1.030	22.000	11.915	0.653	1.120	0.731
Tornillo	1.310	22.000	19.274	1.709	1.120	1.913
Tornillo	1.340	19.000	17.417	1.871	0.967	1.809
Tornillo	1.180	26.000	18.482	1.125	1.323	1.489
Tornillo	1.220	25.000	18.996	1.285	1.273	1.636
Tornillo	1.000	19.000	9.700	0.580	0.967	0.561
Tornillo	0.900	24.000	9.924	0.381	1.222	0.465
Tornillo	1.460	28.000	30.470	2.636	1.425	3.757
Tornillo	1.520	26.000	30.667	3.097	1.323	4.080
Tornillo	1.680	26.000	37.462	4.622	1.323	6.116
Tornillo	1.460	22.000	23.940	2.636	1.120	2.952
Tornillo	0.810	24.000	8.039	0.250	1.222	0.305
Tornillo	1.010	24.000	12.499	0.604	1.222	0.738
Tornillo	1.260	22.000	17.831	1.462	1.120	1.637
Tornillo	1.400	24.000	24.014	2.229	1.222	2.723
Tornillo	1.290	18.000	15.292	1.607	0.916	1.472
Tornillo	1.350	26.000	24.191	1.927	1.323	2.550
Tornillo	1.350	28.000	26.051	1.927	1.425	2.746
Tornillo	0.890	22.000	8.896	0.364	1.120	0.408
Tornillo	1.090	22.000	13.344	0.819	1.120	0.917
Tornillo	0.870	24.000	9.274	0.332	1.222	0.406
Tornillo	0.970	22.000	10.567	0.514	1.120	0.575
Tornillo	1.020	24.000	12.747	0.628	1.222	0.767
Tornillo	1.800	27.000	44.659	6.090	1.374	8.370
Tornillo	1.790	26.000	42.529	5.956	1	

RESULTADO DEL INVENTARIO CONCESIÓN 1																				
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3	Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	2.220	28.000	70.448	14.092	1.425	20.084	Tornillo	1.620	24.000	32.155	3.996	1.222	4.881	Tornillo	1.200	22.000	16.173	1.203	1.120	1.347
Tornillo	0.990	24.000	12.008	0.557	1.222	0.681	Tornillo	1.050	26.000	14.634	0.705	1.323	0.933	Tornillo	1.540	24.000	29.057	3.263	1.222	3.986
Tornillo	0.850	22.000	8.115	0.303	1.120	0.339	Tornillo	0.970	23.000	11.048	0.514	1.171	0.601	Tornillo	1.150	20.000	13.503	1.015	1.018	1.033
Tornillo	1.620	28.000	37.514	3.996	1.425	5.695	Tornillo	1.340	24.000	22.000	1.871	1.222	2.285	Tornillo	2.230	21.000	53.313	14.347	1.069	15.336
Tornillo	1.510	20.000	23.280	3.016	1.018	3.071	Tornillo	1.050	19.000	10.694	0.705	0.967	0.682	Tornillo	0.830	15.000	5.275	0.275	0.764	0.210
Tornillo	1.130	24.000	15.645	0.946	1.222	1.156	Tornillo	1.450	28.000	30.054	2.565	1.425	3.655	Tornillo	1.230	27.000	20.853	1.328	1.374	1.825
Tornillo	1.210	24.000	17.939	1.244	1.222	1.519	Tornillo	1.290	22.000	18.690	1.607	1.120	1.799	Tornillo	1.500	24.000	27.568	2.937	1.222	3.588
Tornillo	2.080	20.000	44.173	10.859	1.018	11.055	Tornillo	1.000	24.000	12.252	0.580	1.222	0.709	Tornillo	1.660	26.000	36.576	4.405	1.323	5.830
Tornillo	1.500	24.000	27.568	2.937	1.222	3.588	Tornillo	1.290	26.000	22.088	1.607	1.323	2.126	Tornillo	1.230	23.000	17.764	1.328	1.171	1.555
Tornillo	1.030	32.000	17.331	0.653	1.629	1.064	Tornillo	1.600	27.000	35.286	3.802	1.374	5.225	Tornillo	1.290	23.000	19.539	1.607	1.171	1.881
Tornillo	1.100	24.000	14.825	0.849	1.222	1.038	Tornillo	0.920	19.000	8.210	0.416	0.967	0.402	Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.473	1.018	0.481
Tornillo	1.600	7.000	9.148	3.802	0.356	1.355	Tornillo	1.050	26.000	14.634	0.705	1.323	0.933	Tornillo	1.170	14.000	9.784	1.087	0.713	0.775
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.238	1.018	0.242	Tornillo	1.140	19.000	12.606	0.980	0.967	0.948	Tornillo	1.550	22.000	26.983	3.349	1.120	3.750
Tornillo	1.810	26.000	43.485	6.227	1.323	8.241	Tornillo	1.480	26.000	29.074	2.784	1.323	3.684	Tornillo	1.090	20.000	12.131	0.819	1.018	0.834
Tornillo	1.180	24.000	17.060	1.125	1.222	1.374	Tornillo	1.500	21.000	24.122	2.937	1.069	3.140	Tornillo	1.110	23.000	14.467	0.881	1.171	1.031
Tornillo	1.080	25.000	14.886	0.789	1.273	1.004	Tornillo	1.450	24.000	25.760	2.565	1.222	3.133	Tornillo	1.140	18.000	11.942	0.980	0.916	0.898
Tornillo	1.310	27.000	23.654	1.709	1.374	2.348	Tornillo	1.250	26.000	20.739	1.416	1.323	1.875	Tornillo	1.440	29.000	30.699	2.495	1.476	3.682
Tornillo	1.420	30.000	30.882	2.359	1.527	3.602	Tornillo	1.040	24.000	13.252	0.679	1.222	0.829	Tornillo	1.640	29.000	39.819	4.197	1.476	6.195
Tornillo	1.130	21.000	13.689	0.946	1.069	1.011	Tornillo	1.320	25.000	22.238	1.761	1.273	2.241	Tornillo	1.450	29.000	31.127	2.565	1.476	3.786
Tornillo	1.660	29.000	40.796	4.405	1.476	6.503	Tornillo	1.050	26.000	14.634	0.705	1.323	0.933	Tornillo	1.030	23.000	12.457	0.653	1.171	0.764
Tornillo	0.900	24.000	9.924	0.381	1.222	0.465	Tornillo	1.030	23.000	12.457	0.653	1.171	0.764	Tornillo	1.210	30.000	22.423	1.244	1.527	1.899
Tornillo	1.550	25.000	30.663	3.349	1.273	4.261	Tornillo	1.340	28.000	25.667	1.871	1.425	2.666	Tornillo	1.820	26.000	43.966	6.366	1.323	8.424
Tornillo	1.050	17.000	9.568	0.705	0.865	0.610	Tornillo	1.600	26.000	33.980	3.802	1.323	5.032	Tornillo	1.550	25.000	30.663	3.349	1.273	4.261
Tornillo	0.940	21.000	9.473	0.453	1.069	0.484	Tornillo	1.580	26.000	33.135	3.616	1.323	4.785	Tornillo	1.350	24.000	22.330	1.927	1.222	2.354
Tornillo	1.250	20.000	15.953	1.416	1.018	1.442	Tornillo	1.360	25.000	23.606	1.985	1.273	2.526	Tornillo	1.870	19.000	33.919	7.094	0.967	6.861
Tornillo	0.850	19.000	7.008	0.303	0.967	0.293	Tornillo	1.140	24.000	15.923	0.980	1.222	1.197	Tornillo	1.000	22.000	11.231	0.580	1.120	0.650
Tornillo	0.810	27.000	9.044	0.250	1.374	0.343	Tornillo	1.400	26.000	26.016	2.229	1.323	2.950	Tornillo	1.480	29.000	32.428	2.784	1.476	4.109
Tornillo	1.400	15.000	15.009	2.229	0.764	1.702	Tornillo	0.950	24.000	11.058	0.473	1.222	0.577	Tornillo	1.760	26.000	41.115	5.567	1.323	7.367
Tornillo	1.360	24.000	22.662	1.985	1.222	2.425	Tornillo	1.110	27.000	16.983	0.881	1.374	1.210	Tornillo	1.200	24.000	17.643	1.203	1.222	1.470
Tornillo	1.480	27.000	30.192	2.784	1.374	3.825	Tornillo	1.140	27.000	17.913	0.980	1.374	1.347	Tornillo	1.510	27.000	31.428	3.016	1.374	4.145
Tornillo	1.650	20.000	20.797	4.300	1.018	4.378	Tornillo	0.940	23.000	10.375	0.453	1.171	0.530	Tornillo	1.600	29.000	37.900	3.802	1.476	5.612
Tornillo	1.330	27.000	24.382	1.815	1.374	2.495	Tornillo	1.180	15.000	10.663	1.125	0.764	0.859	Tornillo	1.420	24.000	24.705	2.359	1.222	2.882
Tornillo	1.500	15.000	17.230	2.937	0.764	2.243	Tornillo	1.250	22.000	17.549	1.416	1.120	1.586	Tornillo	1.220	23.000	17.476	1.285	1.171	1.505
Tornillo	0.950	15.000	6.911	0.473	0.764	0.361	Tornillo	1.060	22.000	12.619	0.732	1.120	0.820	Tornillo	1.200	27.000	19.849	1.203	1.374	1.653
Tornillo	1.080	21.000	12.505	0.789	1.069	0.844	Tornillo	0.940	23.000	10.375	0.453	1.171	0.530	Tornillo	1.280	27.000	22.583	1.557	1.374	2.140
Tornillo	1.740	31.000	47.914	5.318	1.578	8.391	Tornillo	1.110	25.000	15.725	0.881	1.273	1.121	Tornillo	2.040	23.000	48.864	10.048	1.171	11.763
Tornillo	1.000	20.000	10.210	0.580	1.018	0.591	Tornillo	1.550	26.000	31.889	3.349	1.323	4.432	Tornillo	1.050	17.000	9.568	0.705	0.865	0.610
Tornillo	0.900	23.000	9.511	0.381	1.171	0.446	Tornillo	1.090	26.000	15.770	0.819	1.323	1.084	Tornillo	0.970	23.000	11.048	0.514	1.171	0.601
Tornillo	1.170	33.000	23.062	1.087	1.680	1.826	Tornillo	1.320	24.000	21.348	1.761	1.222	2.152	Tornillo	1.000	25.000	12.763	0.580	1.273	0.738
Tornillo	1.960	27.000	52.952	8.562	1.374	11.767	Tornillo	1.130	24.000	15.645	0.946	1.222	1.156	Tornillo	1.100	23.000	14.207	0.849	1.171	0.994
Tornillo	1.000	23.000	11.742	0.580	1.171	0.679	Tornillo	1.320	28.000	24.906	1.761	1.425	2.510	Tornillo	1.280	24.000	20.074	1.557	1.222	1.903
Tornillo	0.970	19.000	9.126	0.514	0.967	0.497	Tornillo	1.580	28.000	35.684	3.616	1.425	5.153	Tornillo	0.880	27.000	10.674	0.348	1.374	0.478
Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.473	1.018	0.481	Tornillo	1.800	24.000	39.697	6.090	1.222	7.440	Tornillo	2.000	29.000	59.219	9.283	1.476	13.702
Tornillo	1.050	26.000	14.634	0.705	1.323	0.933	Tornillo	1.240	26.000	20.409	1.372	1.323	1.815	Tornillo	1.130	19.000	12.386	0.946	0.967	0.915
Tornillo	0.800	19.000	6.208	0.238	0.967	0.230	Tornillo	1.380	28.000	27.222	2.104	1.425	2.999	Tornillo	1.240	21.000	16.484	1.372	1.069	1.466
Tornillo	1.070	21.000	12.274	0.760	1.069	0.813	Tornillo	1.600	28.000	36.593	3.802	1.425	5.419	Tornillo	1.260	17.000	13.778	1.462	0.865	1.265
Tornillo	1.300	25.000	21.569	1.657	1.273	2.109	Tornillo	0.840	14.000	5.043	0.289	0.713	0.206	Tornillo	1.400	25.000	25.015	2.229	1.273	2.836
Tornillo	1.530	18.000	21.511	3.179	0.916	2.913	Tornillo	1.110	20.000	12.580	0.881	1.018	0.897	Tornillo	0.900	28.000	11.578	0.381	1.425	0.543
Tornillo	1.120	24.000	15.369	0.913	1.222	1.115	Tornillo	1.200	24.000	17.643	1.203	1.222	1.470	Tornillo	1.170	24.000	16.772	1.087	1.222	1.328
Tornillo	0.800	15.000	4.901	0.238	0.764	0.181	Tornillo	1.900	29.000	53.445	7.561	1.476	11.161	Tornillo	1.250	24.000	19.144	1.416	1.222	1.730
Tornillo	1.040	17.000	9.387	0.679	0.865	0.587	Tornillo	1.050	24.000	13.508	0.705	1.222	0.861	Tornillo	1.000	20.000	10.210	0.580	1.018	0.591
Tornillo	1.350	18.000	16.747	1.927	0.916	1.766	Tornillo	1.570	27.000	33.976	3.525	1.374	4.844	Tornillo	1.380	30.000	29.166	2.104	1.527	3.213
Tornillo	1.020	20.000	10.623	0.628	1.018	0.639	Tornillo	1.080	14.000	8.336	0.789	0.713	0.562	Tornillo	0.860	29.000	10.950	0.317	1.476	0.468
Tornillo	1.110	30.000	18.870	0.881	1.527	1.345	Tornillo	1.060	22.000	12.619	0.732	1.120	0.820	Tornillo	1.210	22.000	16.444	1.244	1.120	1.393
Tornillo	0.900	12.000	4.962	0.381	0.611	0.233	Tornillo	1.080	22.000	13.100	0.789	1.120	0.884	Tornillo	1.450	26.000	27.907	2.565	1.323	3.394
Tornillo	1.540	24.000	29.057	3.263	1.222	3.986	Tornillo	1.410	24.000	24.359	2.293	1.222	2.801	Tornillo	1.100	12.000	7.413	0.849	0.611	0.519
Tornillo	1.690	24.000	34.994	4.733	1.222	5.781	Tornillo	0.920	24.000	10.370	0.416	1.222	0.508	Tornillo	1.040	23.000	12.700	0.679	1.171	0.795
Tornillo	1.680	24.000																		

RESULTADO DEL INVENTARIO				CONCESIÓN 1		
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.880	20.000	7.907	0.348	1.018	0.354
Tornillo	1.280	22.000	18.401	1.557	1.120	1.744
Tornillo	1.070	16.000	9.352	0.760	0.814	0.619
Tornillo	0.930	26.000	11.480	0.434	1.323	0.574
Tornillo	0.950	20.000	9.215	0.473	1.018	0.481
Tornillo	1.390	26.000	25.645	2.166	1.323	2.866
Tornillo	1.500	26.000	29.865	2.937	1.323	3.887
Tornillo	2.100	22.000	49.530	11.283	1.120	12.635
Tornillo	1.450	19.000	20.394	2.565	0.967	2.480
Tornillo	1.800	24.000	39.697	6.090	1.222	7.440
Tornillo	0.840	16.000	5.763	0.289	0.814	0.235
Tornillo	1.450	20.000	21.467	2.565	1.018	2.611
Tornillo	1.650	26.000	36.136	4.300	1.323	5.691
Tornillo	1.500	26.000	29.865	2.937	1.323	3.887
Tornillo	1.340	25.000	22.917	1.871	1.273	2.380
Tornillo	1.070	19.000	11.105	0.760	0.967	0.735
Tornillo	1.540	24.000	29.057	3.263	1.222	3.986
Tornillo	1.860	24.000	42.388	6.944	1.222	8.483
Tornillo	1.600	15.000	19.604	3.802	0.764	2.903
Tornillo	1.730	24.000	36.670	5.197	1.222	6.349
Tornillo	1.210	24.000	17.939	1.244	1.222	1.519
Tornillo	1.410	26.000	26.389	2.293	1.323	3.035
Tornillo	1.020	24.000	12.747	0.628	1.222	0.767
Tornillo	1.450	26.000	27.907	2.565	1.323	3.394
Tornillo	1.330	26.000	23.479	1.815	1.323	2.402
Tornillo	1.820	18.000	30.438	6.366	0.916	5.832
Tornillo	1.420	26.000	26.764	2.359	1.323	3.122
Tornillo	1.460	20.000	21.764	2.636	1.018	2.684
Tornillo	1.490	28.000	31.735	2.860	1.425	4.075
Tornillo	0.840	22.000	7.925	0.289	1.120	0.323
Tornillo	1.950	26.000	50.472	8.389	1.323	11.102
Tornillo	0.870	24.000	9.274	0.332	1.222	0.406
Tornillo	1.340	20.000	18.333	1.871	1.018	1.904
Tornillo	1.610	26.000	34.406	3.898	1.323	5.159
Tornillo	1.600	22.000	28.572	3.802	1.120	4.258
Tornillo	1.590	24.000	30.975	3.708	1.222	4.530
Tornillo	0.870	26.000	10.047	0.332	1.323	0.440
Tornillo	1.070	22.000	12.859	0.760	1.120	0.852
Tornillo	0.970	24.000	11.528	0.514	1.222	0.627
Tornillo	1.240	26.000	20.409	1.372	1.323	1.815
Tornillo	1.650	28.000	38.916	4.300	1.425	6.129
Tornillo	2.100	29.000	65.289	11.283	1.476	16.655
Tornillo	1.700	28.000	41.310	4.846	1.425	6.906
Tornillo	1.110	26.000	16.354	0.881	1.323	1.166
Tornillo	1.700	26.000	38.360	4.846	1.323	6.413
Tornillo	1.800	28.000	46.313	6.090	1.425	8.680
Tornillo	1.160	26.000	17.860	1.050	1.323	1.390
Tornillo	1.700	24.000	35.409	4.846	1.222	5.919
Tornillo	1.050	21.000	11.820	0.705	1.069	0.754
Tornillo	1.220	20.000	15.197	1.285	1.018	1.308
Tornillo	1.390	25.000	24.659	2.166	1.273	2.756
Tornillo	1.520	26.000	30.667	3.097	1.323	4.098
Tornillo	0.900	24.000	9.924	0.381	1.222	0.465
Tornillo	1.570	22.000	27.684	3.525	1.120	3.947
Tornillo	0.880	26.000	10.279	0.348	1.323	0.460
Tornillo	1.750	26.000	40.649	5.441	1.323	7.201
Tornillo	1.130	26.000	16.949	0.946	1.323	1.252
Tornillo	0.990	21.000	10.507	0.557	1.069	0.596
Tornillo	1.000	22.000	11.231	0.580	1.120	0.650
Tornillo	1.510	26.000	30.264	3.016	1.323	3.992
Tornillo	0.830	24.000	8.441	0.275	1.222	0.336
Tornillo	1.480	25.000	27.956	2.784	1.273	3.542
Tornillo	1.700	26.000	38.360	4.846	1.323	6.413
Tornillo	1.330	26.000	23.479	1.815	1.323	2.402
Tornillo	1.180	22.000	15.638	1.125	1.120	1.260
Tornillo	1.530	24.000	28.681	3.179	1.222	3.884
Tornillo	0.810	26.000	8.709	0.250	1.323	0.331
Tornillo	1.800	26.000	43.005	6.090	1.323	8.060
Tornillo	1.700	26.000	38.360	4.846	1.323	6.413
Tornillo	1.560	26.000	32.302	3.436	1.323	4.547
Tornillo	1.580	26.000	33.135	3.616	1.323	4.785
Tornillo	1.420	25.000	25.735	2.359	1.273	3.002
Tornillo	1.620	24.000	32.155	3.996	1.222	4.881
Tornillo	1.600	26.000	33.980	3.802	1.323	5.032
Tornillo	1.600	29.000	37.900	3.802	1.476	5.612
Tornillo	1.540	24.000	29.057	3.263	1.222	3.986
Tornillo	0.990	16.000	8.006	0.557	0.814	0.454
Tornillo	1.080	26.000	15.482	0.789	1.323	1.045
Tornillo	1.870	24.000	42.845	7.094	1.222	8.667
Tornillo	1.440	15.000	15.879	2.495	0.764	1.905
Tornillo	1.470	8.000	8.825	2.709	0.407	1.103
Tornillo	1.770	24.000	38.385	5.694	1.222	6.956
Tornillo	1.500	20.000	22.973	2.937	1.018	2.990
Tornillo	1.400	24.000	24.014	2.229	1.222	2.723
Tornillo	1.570	24.000	30.201	3.525	1.222	4.306
Tornillo	0.800	10.000	3.267	0.238	0.509	0.121
Tornillo	1.180	22.000	15.638	1.125	1.120	1.260
Tornillo	1.030	24.000	12.998	0.653	1.222	0.798
Tornillo	1.340	22.000	20.167	1.871	1.120	2.095
Tornillo	1.360	24.000	22.662	1.985	1.222	2.425

Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	1.350	20.000	18.608	1.927	1.018	1.962
Tornillo	1.650	26.000	36.136	4.300	1.323	5.691
Tornillo	1.160	24.000	16.487	1.050	1.222	1.283
Tornillo	1.090	22.000	13.344	0.819	1.120	0.917
Tornillo	1.600	18.000	23.524	3.802	0.916	3.484
Tornillo	1.100	20.000	12.354	0.849	1.018	0.865
Tornillo	1.000	25.000	12.763	0.580	1.273	0.738
Tornillo	0.800	23.000	7.515	0.238	1.171	0.278
Tornillo	1.900	11.000	20.272	7.561	0.560	4.233
Tornillo	2.020	18.000	37.496	9.660	0.916	8.850
Tornillo	2.570	23.000	77.553	25.310	1.171	29.630
Tornillo	2.120	25.000	57.361	11.719	1.273	14.913
Tornillo	1.000	16.000	8.168	0.580	0.814	0.472
Tornillo	2.170	16.000	38.463	12.864	0.814	10.477
Tornillo	1.400	27.000	27.016	2.229	1.374	3.063
Tornillo	1.550	19.000	23.304	3.349	0.967	3.239
Tornillo	1.200	17.000	12.497	1.203	0.865	1.041
Tornillo	1.610	24.000	31.759	3.898	1.222	4.762
Tornillo	1.400	20.000	20.012	2.229	1.018	2.269
Tornillo	1.170	21.000	14.676	1.087	1.069	1.162
Tornillo	1.430	27.000	28.186	2.426	1.374	3.334
Tornillo	1.350	26.000	24.191	1.927	1.323	2.550
Tornillo	1.250	27.000	21.537	1.416	1.374	1.947
Tornillo	1.280	23.000	19.238	1.557	1.171	1.823
Tornillo	1.100	14.000	8.648	0.849	0.713	0.605
Tornillo	1.880	32.000	57.739	7.247	1.629	11.805
Tornillo	1.500	21.000	24.122	2.937	1.069	3.140
Tornillo	1.200	17.000	12.497	1.203	0.865	1.041
Tornillo	1.400	22.000	22.013	2.229	1.120	2.496
Tornillo	1.300	24.000	20.706	1.657	1.222	2.024
Tornillo	1.400	18.000	18.011	2.229	0.916	2.042
Tornillo	1.060	26.000	14.914	0.732	1.323	0.969
Tornillo	1.300	24.000	20.706	1.657	1.222	2.024
Tornillo	1.500	20.000	22.973	2.937	1.018	2.990
Tornillo	1.150	13.000	8.777	1.015	0.662	0.671
Tornillo	0.770	8.000	2.421	0.204	0.407	0.083
Tornillo	1.010	22.000	11.457	0.604	1.120	0.676
Tornillo	1.920	26.000	48.931	7.884	1.323	10.434
Tornillo	1.600	14.000	18.297	3.802	0.713	2.709
Tornillo	1.440	15.000	15.879	2.495	0.764	1.905
Tornillo	0.860	24.000	9.062	0.317	1.222	0.388
Tornillo	1.360	22.000	20.773	1.985	1.120	2.223
Tornillo	1.150	24.000	16.204	1.015	1.222	1.240
Tornillo	1.150	22.000	14.853	1.015	1.120	1.136
Tornillo	1.030	22.000	11.915	0.653	1.120	0.731
Tornillo	1.100	20.000	12.354	0.849	1.018	0.865
Tornillo	1.370	28.000	26.829	2.044	1.425	2.913
Tornillo	1.230	27.000	20.853	1.328	1.374	1.825
Tornillo	1.550	22.000	26.983	3.349	1.120	3.750
Tornillo	1.270	25.000	20.585	1.509	1.273	1.921
Tornillo	1.540	20.000	24.215	3.263	1.018	3.322
Tornillo	1.540	26.000	31.479	3.263	1.323	4.318
Tornillo	0.820	20.000	6.865	0.262	1.018	0.267
Tornillo	0.780	15.000	4.659	0.215	0.764	0.164
Tornillo	0.790	15.000	4.779	0.226	0.764	0.173
Tornillo	0.740	12.000	3.355	0.174	0.611	0.106
Tornillo	0.750	17.000	4.882	0.184	0.865	0.159
Tornillo	0.720	15.000	3.970	0.156	0.764	0.119
Tornillo	0.800	22.000	7.188	0.238	1.120	0.266
Tornillo	0.790	19.000	6.054	0.226	0.967	0.219
Tornillo	0.730	17.000	4.625	0.165	0.865	0.143
Tornillo	0.920	19.000	8.210	0.416	0.967	0.402
Tornillo	0.980	21.000	10.296	0.535	1.069	0.572
Tornillo	1.080	21.000	12.505	0.789	1.069	0.844
Tornillo	0.690	17.000	4.132	0.132	0.865	0.114
Tornillo	0.780	21.000	6.522	0.215	1.069	0.230
Tornillo	0.840	25.000	9.005	0.289	1.273	0.368
Tornillo	0.700	20.000	5.003	0.139	1.018	0.142
Tornillo	0.790	13.000	4.142	0.226	0.662	0.150
Tornillo	0.720	14.000	3.705	0.156	0.713	0.111
Tornillo	0.750	19.000	5.456	0.184	0.967	0.178
Tornillo	0.850	22.000	8.115	0.303	1.120	0.339
Tornillo	0.800	21.000	6.861	0.238	1.069	0.254
Tornillo	0.840	21.000	7.565	0.289	1.069	0.309

RESULTADO DEL INVENTARIO				CONCESIÓN 1		
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.750	20.000	5.743	0.184	1.018	0.187
Tornillo	0.680	20.000	4.721	0.124	1.018	0.126
Tornillo	0.610	20.000	3.799	0.080	1.018	0.082
Tornillo	0.650	19.000	4.098	0.104	0.967	0.100
Tornillo	0.800	11.000	3.594	0.238	0.560	0.133
Tornillo	0.700	22.000	5.503	0.139	1.120	0.156
Tornillo	0.730	16.000	4.353	0.165	0.814	0.134
Tornillo	1.050	20.000	11.257	0.705	1.018	0.718
Tornillo	1.120	21.000	13.448	0.913	1.069	0.976
Tornillo	0.730	12.000	3.265	0.165	0.611	0.101
Tornillo	0.800	12.000	3.921	0.238	0.611	0.145
Tornillo	0.930	21.000	9.272	0.434	1.069	0.464
Tornillo	0.780	19.000	5.901	0.215	0.967	0.208
Tornillo	0.770	19.000	5.751	0.204	0.967	0.197
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.238	1.018	0.242
Tornillo	1.000	20.000	10.210	0.580	1.018	0.591
Tornillo	0.900	21.000	8.684	0.381	1.069	0.407
Tornillo	0.770	21.000	6.356	0.204	1.069	0.218
Tornillo	0.840	20.000	7.204	0.289	1.018	0.294
Tornillo	0.980	21.000	10.296	0.535	1.069	0.572
Tornillo	0.670	18.000	4.125	0.117	0.916	0.107
Tornillo	0.880	20.000	7.907	0.348	1.018	0.354
Tornillo	0.690	18.000	4.375	0.132	0.916	0.120
Tornillo	1.420	14.000	14.411	2.359	0.713	1.681
Tornillo	1.100	22.000	13.590	0.849	1.120	0.951
Tornillo	0.860	14.000	5.286	0.317	0.713	0.226
Tornillo	0.840	20.000	7.204	0.289	1.018	0.294
Tornillo	0.630	17.000	3.445	0.091	0.865	0.079
Tornillo	1.020	18.000	9.560	0.628	0.916	0.575
Tornillo	1.010	21.000	10.936	0.604	1.069	0.645
Tornillo	0.870	19.000	7.342	0.332	0.967	0.321
Tornillo	0.980	23.000	11.277	0.535	1.171	0.626
Tornillo	0.760	17.000	5.013	0.194	0.865	0.167
Tornillo	0.860	22.000	8.307	0.317	1.120	0.355
Tornillo	1.060	23.000	13.193	0.732	1.171	0.857
Tornillo	0.810	20.000	6.699	0.250	1.018	0.254
Tornillo	1.080	18.000	10.718	0.789	0.916	0.723
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.238	1.018	0.242
Tornillo	0.860	21.000	7.929	0.317	1.069	0.339
Tornillo	0.970	20.000	9.607	0.514	1.018	0.523
Tornillo	1.000	21.000	10.721	0.580	1.069	0.620
Tornillo	0.750	20.000	5.743	0.184	1.018	0.187
Tornillo	0.650	20.000	4.314	0.104	1.018	0.105
Tornillo	0.890	21.000	8.492	0.364	1.069	0.389
Tornillo	0.830	21.000	7.385	0.275	1.069	0.294
Tornillo	0.710	20.000	5.147	0.147	1.018	0.150

RESULTADO DEL INVENTARIO				CONCESIÓN 2		
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.960	24.000	11.292	1.836	1.459	2.679
Tornillo	0.800	22.000	7.188	0.885	1.337	1.184
Tornillo	0.800	20.000	6.535	0.885	1.216	1.077
Tornillo	0.880	18.000	7.116	1.296	1.094	1.419
Tornillo	0.700	20.000	5.003	0.519	1.216	0.631
Tornillo	0.750	18.000	5.169	0.684	1.094	0.748
Tornillo	0.750	18.000	5.169	0.684	1.094	0.748
Tornillo	0.760	18.000	5.308	0.721	1.094	0.789
Tornillo	0.770	20.000	6.054	0.760	1.216	0.924
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.610	14.000	2.659	0.299	0.851	0.255
Tornillo	0.850	20.000	7.377	1.128	1.216	1.372
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.810	20.000	6.699	0.931	1.216	1.131
Tornillo	0.660	17.000	3.780	0.410	1.033	0.424
Tornillo	0.770	15.000	4.540	0.760	0.912	0.693
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	1.000	16.000	8.168	2.162	0.973	2.103
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	1.000	17.000	8.679	2.162	1.033	2.234
Tornillo	1.150	17.000	11.478	3.781	1.033	3.908
Tornillo	0.670	15.000	3.438	0.436	0.912	0.397
Tornillo	1.300	18.000	15.530	6.174	1.094	6.756
Tornillo	0.600	16.000	2.941	0.280	0.973	0.273
Tornillo	0.620	16.000	3.140	0.319	0.973	0.311
Tornillo	0.680	15.000	3.541	0.462	0.912	0.421
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	1.150	17.000	11.478	3.781	1.033	3.908
Tornillo	0.780	16.000	4.970	0.800	0.973	0.778
Tornillo	0.750	17.000	4.882	0.684	1.033	0.707
Tornillo	1.220	23.000	17.476	4.789	1.398	6.696
Tornillo	1.000	14.000	7.147	2.162	0.851	1.840
Tornillo	0.920	16.000	6.914	1.549	0.973	1.506
Tornillo	0.960	18.000	8.469	1.836	1.094	2.009
Tornillo	0.720	13.000	3.440	0.581	0.790	0.459
Tornillo	1.110	20.000	12.580	3.282	1.216	3.990
Tornillo	0.730	17.000	4.625	0.614	1.033	0.634
Tornillo	0.680	13.000	3.069	0.462	0.790	0.365
Tornillo	1.020	22.000	11.685	2.340	1.337	3.130
Tornillo	0.660	14.000	3.113	0.410	0.851	0.349

Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	1.040	19.000	10.491	2.529	1.155	2.921
Tornillo	0.980	18.000	8.825	1.994	1.094	2.182
Tornillo	0.950	18.000	8.293	1.761	1.094	1.927
Tornillo	0.980	20.000	9.806	1.994	1.216	2.424
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.820	15.000	5.149	0.977	0.912	0.891
Tornillo	0.670	14.000	3.208	0.436	0.851	0.371
Tornillo	0.610	14.000	2.659	0.299	0.851	0.255
Tornillo	0.640	15.000	3.137	0.363	0.912	0.331
Tornillo	1.370	20.000	19.164	7.616	1.216	9.259
Tornillo	0.980	11.000	5.393	1.994	0.669	1.333
Tornillo	1.280	19.000	15.892	5.803	1.155	6.703
Tornillo	0.880	15.000	5.930	1.296	0.912	1.182
Tornillo	1.120	20.000	12.808	3.402	1.216	4.136
Tornillo	1.360	22.000	20.773	7.396	1.337	9.891
Tornillo	0.660	15.000	3.336	0.410	0.912	0.374
Tornillo	1.080	18.000	10.718	2.941	1.094	3.218
Tornillo	0.760	16.000	4.718	0.721	0.973	0.702
Tornillo	1.080	18.000	10.718	2.941	1.094	3.218
Tornillo	0.640	12.000	2.509	0.363	0.730	0.265
Tornillo	0.660	14.000	3.113	0.410	0.851	0.349
Tornillo	1.080	20.000	11.909	2.941	1.216	3.576
Tornillo	1.150	20.000	13.503	3.781	1.216	4.597
Tornillo	0.660	15.000	3.336	0.410	0.912	0.374
Tornillo	0.620	13.000	2.551	0.319	0.790	0.252
Tornillo	0.940	20.000	9.022	1.688	1.216	2.052
Tornillo	0.980	19.000	9.316	1.994	1.155	2.303
Tornillo	0.880	16.000	6.325	1.296	0.973	1.261
Tornillo	0.640	14.000	2.927	0.363	0.851	0.309
Tornillo	0.850	15.000	5.533	1.128	0.912	1.029
Tornillo	1.040	20.000	11.043	2.529	1.216	3.075
Tornillo	0.610	12.000	2.280	0.299	0.730	0.218
Tornillo	1.020	20.000	10.623	2.340	1.216	2.845
Tornillo	1.150	17.000	11.478	3.781	1.033	3.908
Tornillo	1.000	17.000	8.679	2.162	1.033	2.234
Tornillo	0.680	15.000	3.541	0.462	0.912	0.421
Tornillo	0.610	13.000	2.469	0.299	0.790	0.237
Tornillo	1.200	23.000	16.908	4.483	1.398	6.268
Tornillo	1.120	16.000	10.246	3.402	0.973	3.309
Tornillo	1.000	18.000	9.189	2.162	1.094	2.366
Tornillo	1.040	19.000	10.491	2.529	1.155	2.921
Tornillo	0.610	12.000	2.280	0.299	0.730	0.218
Tornillo	0.940	18.000	8.120	1.688	1.094	1.847
Tornillo	1.080	20.000	11.909	2.941	1.216	3.576
Tornillo	0.980	19.000	9.316	1.994	1.155	2.303
Tornillo	0.950	16.000	7.372	1.761	0.973	1.713
Tornillo	0.830	22.000	7.737	1.026	1.337	1.372
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.462	1.094	0.506
Tornillo	0.620	18.000	3.532	0.319	1.094	0.350
Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.462	1.094	0.506
Tornillo	0.670	18.000	4.125	0.436	1.094	0.477
Tornillo	1.000	24.000	12.252	2.162	1.459	3.154
Tornillo	0.660	20.000	4.448	0.410	1.216	0.499
Tornillo	0.880	20.000	7.907	1.296	1.216	1.576
Tornillo	0.930	20.000	8.831	1.617	1.216	1.966
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.700	20.000	5.003	0.519	1.216	0.631
Tornillo	0.950	22.000	10.136	1.761	1.337	2.355
Tornillo	0.770	18.000	5.448	0.760	1.094	0.832
Tornillo	0.770	20.000	6.054	0.760	1.216	0.924
Tornillo	0.650	18.000	3.882	0.386	1.094	0.422
Tornillo	0.830	20.000	7.034	1.026	1.216	1.247
Tornillo	0.650	17.000	3.667	0.386	1.033	0.399
Tornillo	0.780	18.000	5.591	0.800	1.094	0.876
Tornillo	0.760	18.000	5.308	0.721	1.094	0.789
Tornillo	0.610	16.000	3.039	0.299	0.973	0.291
Tornillo	0.870	20.000	7.728	1.238	1.216	1.506
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	1.200	24.000	17.643	4.483	1.459	6.540
Tornillo	1.100	22.000	13.590	3.165	1.337	4.233
Tornillo	0.980	22.000	10.786	1.994	1.337	2.667
Tornillo	0.610	14.000	2.659	0.299	0.851	0.255
Tornillo	0.800	22.000	7.188	0.885	1.337	1.184
Tornillo	0.880	21.000	8.302	1.296	1.277	1.655
Tornillo	0.620	16.000	3.140	0.319	0.973	0.311
Tornillo	0					

RESULTADO DEL INVENTARIO				CONCESIÓN 2		
Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.640	16.000	3.346	0.363	0.973	0.353
Tornillo	0.680	17.000	4.013	0.462	1.033	0.478
Tornillo	0.800	15.000	4.901	0.885	0.912	0.807
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.519	1.033	0.536
Tornillo	1.000	19.000	9.700	2.162	1.155	2.497
Tornillo	0.900	17.000	7.030	1.418	1.033	1.466
Tornillo	1.000	20.000	10.210	2.162	1.216	2.628
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	0.610	16.000	3.039	0.299	0.973	0.291
Tornillo	0.800	16.000	5.228	0.885	0.973	0.861
Tornillo	0.660	16.000	3.558	0.410	0.973	0.399
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.770	16.000	4.843	0.760	0.973	0.739
Tornillo	1.000	18.000	9.189	2.162	1.094	2.366
Tornillo	0.640	19.000	3.973	0.363	1.155	0.419
Tornillo	1.500	20.000	22.973	10.944	1.216	13.306
Tornillo	0.610	16.000	3.039	0.299	0.973	0.291
Tornillo	0.900	17.000	7.030	1.418	1.033	1.466
Tornillo	0.670	16.000	3.667	0.436	0.973	0.424
Tornillo	0.660	17.000	3.780	0.410	1.033	0.424
Tornillo	0.820	18.000	6.179	0.977	1.094	1.070
Tornillo	1.000	19.000	9.700	2.162	1.155	2.497
Tornillo	0.850	18.000	6.639	1.128	1.094	1.235
Tornillo	0.900	16.000	6.616	1.418	0.973	1.380
Tornillo	0.850	18.000	6.639	1.128	1.094	1.235
Tornillo	0.610	16.000	3.039	0.299	0.973	0.291
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	1.100	20.000	12.354	3.165	1.216	3.848
Tornillo	0.860	18.000	6.796	1.183	1.094	1.294
Tornillo	1.080	20.000	11.909	2.941	1.216	3.576
Tornillo	0.680	15.000	3.541	0.462	0.912	0.421
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	0.680	15.000	3.541	0.462	0.912	0.421
Tornillo	0.960	19.000	8.939	1.836	1.155	2.121
Tornillo	1.100	17.000	10.501	3.165	1.033	3.271
Tornillo	1.080	17.000	10.123	2.941	1.033	3.040
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	1.000	16.000	8.168	2.162	0.973	2.103
Tornillo	1.100	22.000	13.590	3.165	1.337	4.233
Tornillo	1.160	23.000	15.800	3.914	1.398	5.473
Tornillo	0.920	18.000	7.778	1.549	1.094	1.695
Tornillo	1.160	20.000	13.739	3.914	1.216	4.759
Tornillo	1.020	18.000	9.560	2.340	1.094	2.561
Tornillo	0.900	18.000	7.443	1.418	1.094	1.552
Tornillo	0.700	15.000	3.752	0.519	0.912	0.473
Tornillo	0.630	14.000	2.837	0.341	0.851	0.290
Tornillo	0.800	15.000	4.901	0.885	0.912	0.807
Tornillo	0.780	13.000	4.038	0.800	0.790	0.632
Tornillo	0.960	16.000	7.528	1.836	0.973	1.786
Tornillo	1.120	20.000	12.808	3.062	1.216	4.136
Tornillo	0.840	15.000	5.403	1.076	0.912	0.981
Tornillo	1.150	22.000	14.853	3.781	1.337	5.057
Tornillo	0.620	13.000	2.551	0.319	0.790	0.252
Tornillo	0.750	19.000	5.456	0.684	1.155	0.790
Tornillo	0.760	15.000	4.423	0.721	0.912	0.658
Tornillo	1.050	19.000	10.694	2.628	1.155	3.035
Tornillo	1.220	17.000	12.917	4.789	1.033	4.949
Tornillo	1.120	14.000	8.965	3.402	0.851	2.895
Tornillo	1.040	22.000	12.148	2.529	1.337	3.382
Tornillo	1.000	16.000	8.168	2.162	0.973	2.103
Tornillo	1.020	20.000	10.623	2.340	1.216	2.845
Tornillo	0.860	16.000	6.325	1.296	0.973	1.261
Tornillo	0.760	17.000	5.013	0.721	1.033	0.745
Tornillo	0.920	20.000	8.642	1.549	1.216	1.883
Tornillo	0.980	17.000	8.335	1.994	1.033	2.061
Tornillo	0.610	13.000	2.469	0.299	0.790	0.237
Tornillo	1.050	19.000	10.694	2.628	1.155	3.035
Tornillo	0.670	16.000	3.667	0.436	0.973	0.424
Tornillo	0.760	13.000	3.833	0.721	0.790	0.570
Tornillo	0.960	17.000	7.998	1.836	1.033	1.898
Tornillo	0.840	17.000	6.124	1.076	1.033	1.112
Tornillo	1.440	22.000	23.289	9.295	1.337	12.432
Tornillo	1.240	20.000	15.699	5.111	1.216	6.214
Tornillo	1.160	20.000	13.739	3.914	1.216	4.759
Tornillo	0.980	18.000	8.825	1.994	1.094	2.182
Tornillo	0.920	18.000	7.778	1.549	1.094	1.695
Tornillo	0.700	17.000	4.253	0.519	1.033	0.536
Tornillo	0.610	12.000	2.280	0.299	0.730	0.218
Tornillo	0.840	15.000	5.403	1.076	0.912	0.981
Tornillo	1.020	18.000	9.560	2.340	1.094	2.561
Tornillo	0.760	16.000	4.718	0.721	0.973	0.702
Tornillo	0.820	15.000	5.149	0.977	0.912	0.891
Tornillo	0.720	15.000	3.970	0.581	0.912	0.530
Tornillo	0.860	13.000	4.908	1.183	0.790	0.935
Tornillo	0.750	10.000	2.872	0.684	0.608	0.416
Tornillo	0.980	16.000	7.845	1.994	0.973	1.939
Tornillo	0.640	14.000	2.927	0.363	0.851	0.309
Tornillo	1.320	20.000	17.790	6.563	1.216	7.980
Tornillo	1.080	16.000	9.527	3.307	1.054	3.485
Tornillo	0.610	12.000	2.280	0.337	0.790	0.266
Tornillo	0.940	16.000	7.217	1.898	1.054	2.000
Tornillo	0.980	15.000	7.354	2.242	0.988	2.215
Tornillo	0.960	11.000	5.175	2.065	0.725	1.496
Tornillo	1.020	18.000	9.560	2.631	1.186	3.120
Tornillo	1.260	18.000	14.589	6.127	1.186	7.264
Tornillo	0.680	16.000	3.777	0.520	1.054	0.548
Tornillo	0.680	18.000	4.249	0.520	1.186	0.616
Tornillo	1.100	20.000	12.354	3.559	1.317	4.689
Tornillo	0.660	15.000	3.336	0.461	0.988	0.456
Tornillo	1.050	16.000	9.005	2.955	1.054	3.114
Tornillo	0.980	17.000	8.335	2.242	1.120	2.511
Tornillo	0.940	15.000	6.766	1.898	0.988	1.875

Especie	Dap (m)	Altura (m)	Volume n (m3)	IID1	IID2	IID3
Tornillo	0.610	13.000	2.469	0.299	0.790	0.237
Tornillo	1.180	19.000	13.506	4.191	1.155	4.841
Tornillo	1.400	23.000	23.014	8.305	1.398	11.612
Tornillo	0.720	14.000	3.705	0.581	0.851	0.494
Tornillo	1.040	18.000	9.929	2.529	1.094	2.767
Tornillo	0.720	19.000	5.028	0.581	1.155	0.671
Tornillo	0.630	17.000	3.445	0.341	1.033	0.352
Tornillo	0.900	22.000	9.097	1.418	1.337	1.897
Tornillo	0.880	18.000	7.116	1.296	1.094	1.419
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.920	18.000	7.778	1.549	1.094	1.695
Tornillo	0.800	18.000	5.881	0.885	1.094	0.969
Tornillo	0.780	20.000	6.212	0.800	1.216	0.973
Tornillo	0.930	18.000	7.948	1.617	1.094	1.770
Tornillo	0.610	16.000	3.039	0.299	0.973	0.291
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	0.820	18.000	6.179	0.977	1.094	1.070
Tornillo	0.770	15.000	4.540	0.760	0.912	0.693
Tornillo	0.760	17.000	5.013	0.721	1.033	0.745
Tornillo	0.680	15.000	3.541	0.462	0.912	0.421
Tornillo	0.640	17.000	3.555	0.363	1.033	0.375
Tornillo	0.610	15.000	2.849	0.299	0.912	0.273
Tornillo	0.750	16.000	4.595	0.684	0.973	0.665
Tornillo	1.000	20.000	10.210	2.162	1.216	2.628
Tornillo	0.900	20.000	8.270	1.418	1.216	1.725
Tornillo	1.000	20.000	10.210	2.162	1.216	2.628
Tornillo	0.850	15.000	5.533	1.128	0.912	1.029
Tornillo	0.680	16.000	3.777	0.462	0.973	0.450
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	0.650	16.000	3.451	0.386	0.973	0.375
Tornillo	0.860	18.000	6.796	1.183	1.094	1.294
Tornillo	0.610	17.000	3.229	0.299	1.033	0.309
Tornillo	0.960	20.000	9.410	1.836	1.216	2.232
Tornillo	0.780	15.000	4.659	0.800	0.912	0.730
Tornillo	0.780	16.000	4.970	0.800	0.973	0.778
Tornillo	0.900	17.000	7.030	1.418	1.033	1.466
Tornillo	0.800	15.000	4.901	0.885	0.912	0.807
Tornillo	0.620	15.000	2.944	0.319	0.912	0.291
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	1.020	19.000	10.092	2.340	1.155	2.703
Tornillo	0.950	13.000	5.990	1.761	0.790	1.392
Tornillo	1.000	20.000	10.210	2.162	1.216	2.628
Tornillo	0.700	13.000	3.252	0.519	0.790	0.410
Tornillo	0.680	12.000	2.833	0.462	0.730	0.337
Tornillo	1.100	18.000	11.119	3.165	1.094	3.463
Tornillo	0.620	16.000	3.140	0.319	0.973	0.311
Tornillo	0.860	19.000	7.174	1.183	1.155	1.366
Tornillo	0.780	14.000	4.348	0.800	0.851	0.681
Tornillo	0.860	17.000	6.419	1.183	1.033	1.222
Tornillo	0.840	15.000	5.403	1.076	0.912	0.981
Tornillo	0.840	16.000	5.763	1.076	0.973	1.047
Tornillo	1.050	18.000	10.131	2.628	1.094	2.875
Tornillo	0.900	16.000	6.616	1.418	0.973	1.380
Tornillo	0.880	18.000	7.116	1.296	1.094	1.419
Tornillo	0.700	16.000	4.002	0.519	0.973	0.505
Tornillo	1.200	22.000	16.173	4.483	1.337	5.995
Tornillo	1.100	20.000	12.354	3.165	1.216	3.848
Tornillo	0.900	18.000	7.443	1.418	1.094	1.552
Tornillo	0.700	15.000	3.752	0.519	0.912	0.473
Tornillo	1.000	19.000	9.700	2.162	1.155	2.497
Tornillo	0.860	16.000	6.041	1.183	0.973	1.150
Tornillo	0.620	15.000				

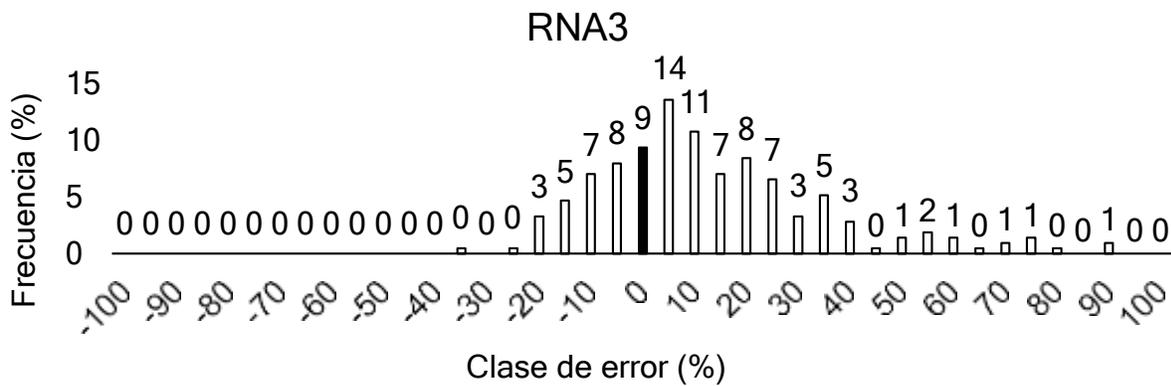
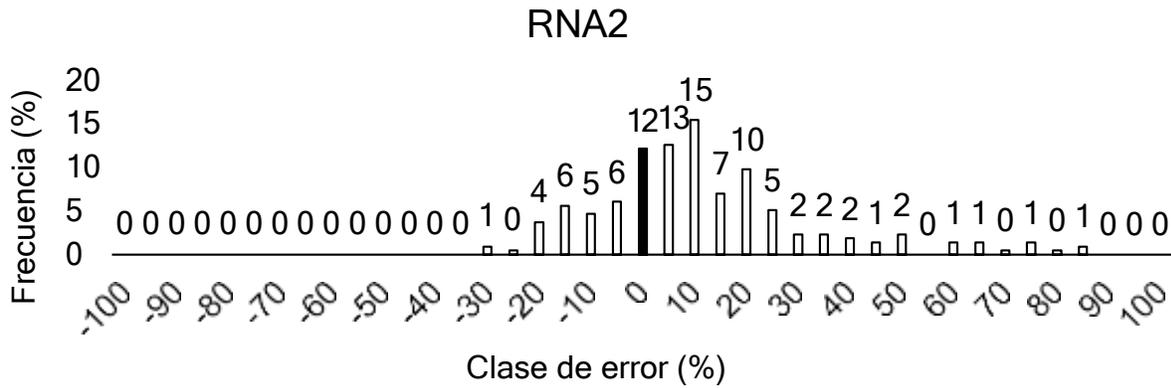
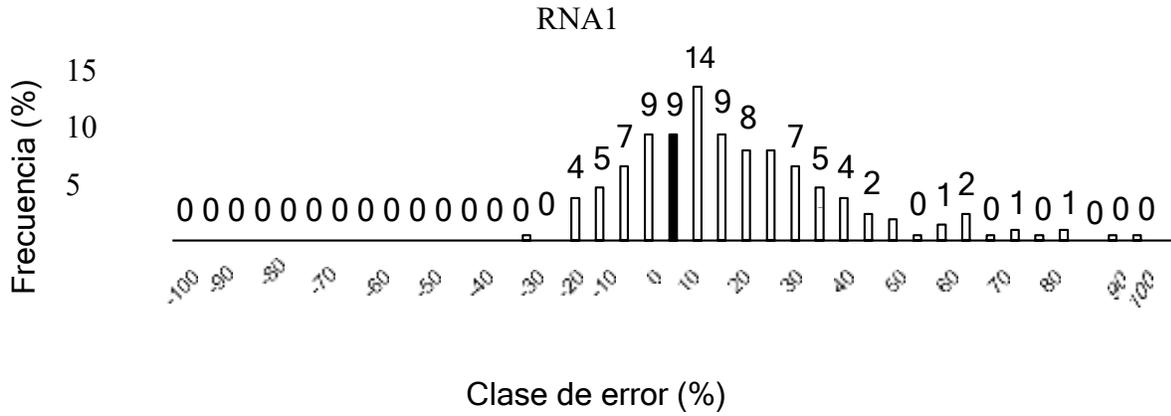
Anexo 4 Indicadores estadísticos del total de modelos generados mediante la técnica de redes neuronales artificiales

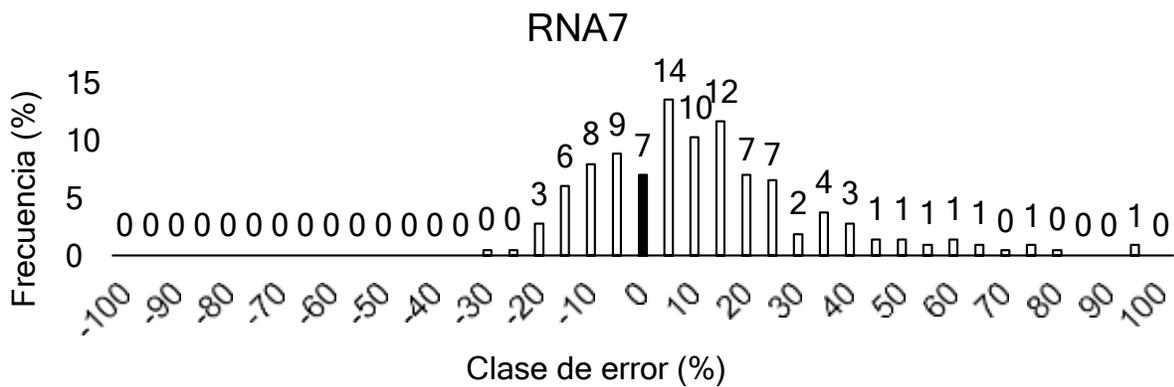
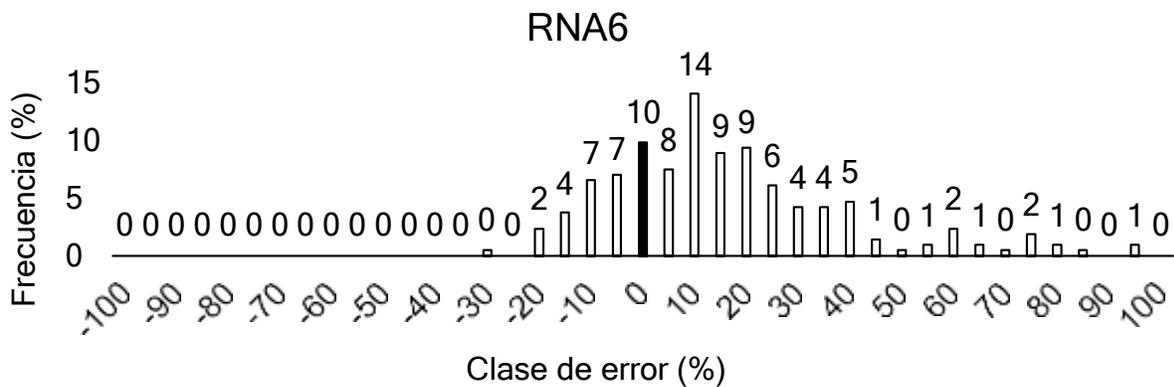
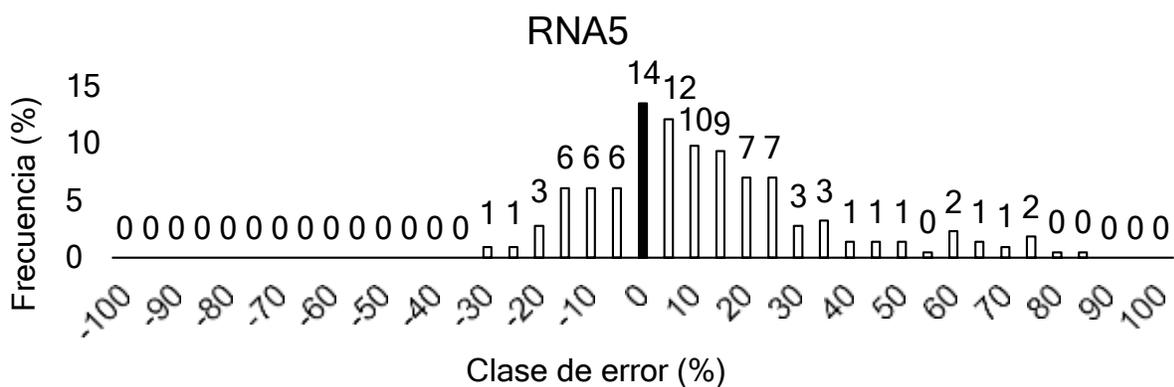
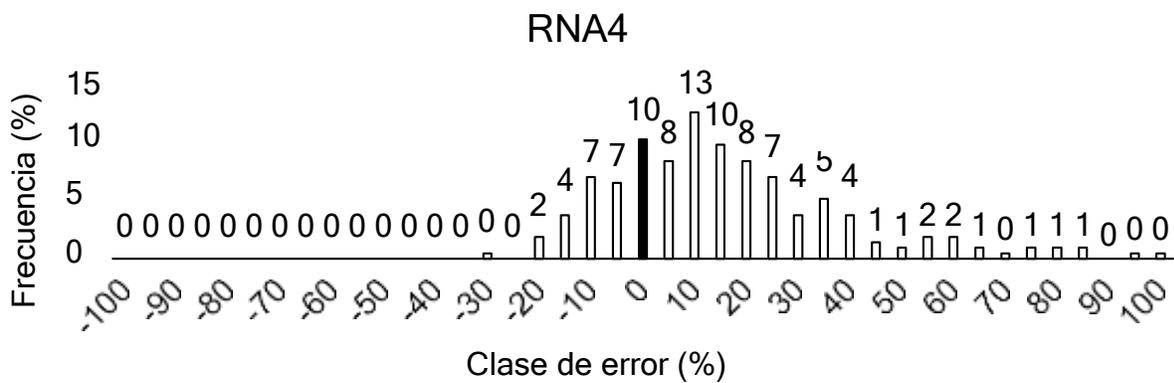
Modelo RNA	Índice de competición	Algoritmos	Repetición de RNA	Bias	RCEM	Correlación
1	IID1	RPROP+	RNA 1	0.0017	2.8694	0.9066
1	IID1	RPROP+	RNA 2	0.0019	2.9538	0.9007
1	IID1	RPROP+	RNA 3	0.0001	2.9665	0.8998
1	IID1	RPROP+	RNA 4	0.0012	2.8765	0.9061
1	IID1	RPROP+	RNA 5	-0.0027	2.9406	0.9016
2	IID2	RPROP+	RNA 1	0.0016	2.8074	0.9108
2	IID2	RPROP+	RNA 2	0.0187	2.8324	0.9091
2	IID2	RPROP+	RNA 3	-0.0069	2.8187	0.9100
2	IID2	RPROP+	RNA 4	-0.0038	2.7870	0.9121
2	IID2	RPROP+	RNA 5	0.0000	2.8095	0.9106
3	IID3	RPROP+	RNA 1	0.0038	2.8639	0.9070
3	IID3	RPROP+	RNA 2	-0.0033	2.9091	0.9039
3	IID3	RPROP+	RNA 3	-0.0091	2.9367	0.9019
3	IID3	RPROP+	RNA 4	-0.0066	2.9411	0.9016
3	IID3	RPROP+	RNA 5	-0.0091	2.8980	0.9046
4	IID1	Backpropagation	RNA 1	0.1813	2.9738	0.8997
4	IID1	Backpropagation	RNA 2	0.1813	2.9738	0.8997
4	IID1	Backpropagation	RNA 3	0.1813	2.9738	0.8997
4	IID1	Backpropagation	RNA 4	0.1813	2.9738	0.8997
4	IID1	Backpropagation	RNA 5	0.1813	2.9738	0.8997
5	IID2	Backpropagation	RNA 1	-0.1160	2.8575	0.9076
5	IID2	Backpropagation	RNA 2	-0.1160	2.8575	0.9076
5	IID2	Backpropagation	RNA 3	-0.1160	2.8575	0.9076
5	IID2	Backpropagation	RNA 4	-0.1160	2.8575	0.9076
5	IID2	Backpropagation	RNA 5	-0.1160	2.8575	0.9076
6	IID3	Backpropagation	RNA 1	0.2190	2.9469	0.9018
6	IID3	Backpropagation	RNA 2	0.2190	2.9469	0.9018
6	IID3	Backpropagation	RNA 3	0.2190	2.9469	0.9018
6	IID3	Backpropagation	RNA 4	0.2190	2.9469	0.9018
6	IID3	Backpropagation	RNA 5	0.2190	2.9469	0.9018
7	IID1	Quick propagation	RNA 1	-0.0056	2.9114	0.9037
7	IID1	Quick propagation	RNA 3	0.0157	2.8928	0.9050
7	IID1	Quick propagation	RNA 4	-0.0050	2.9495	0.9010
7	IID1	Quick propagation	RNA 5	0.1086	2.9445	0.9015
8	IID2	Quick propagation	RNA 1	0.0066	2.8101	0.9106
8	IID2	Quick propagation	RNA 2	0.0028	2.8230	0.9097
8	IID2	Quick propagation	RNA 3	-0.0021	2.8099	0.9106
8	IID2	Quick propagation	RNA 4	-0.0064	2.8471	0.9081
8	IID2	Quick propagation	RNA 5	-0.0094	2.8325	0.9091
9	IID3	Quick propagation	RNA 1	-0.0013	2.8776	0.9060
9	IID3	Quick propagation	RNA 2	-0.0171	2.9466	0.9012
9	IID3	Quick propagation	RNA 3	-0.0937	2.9106	0.9039
9	IID3	Quick propagation	RNA 4	0.0172	2.9691	0.8996
9	IID3	Quick propagation	RNA 5	-0.0925	2.9083	0.9041
10	IID1	Algoritmo genetico	RNA 1	18.6112	18.6243	0.8985
10	IID1	Algoritmo genetico	RNA 2	22.1648	22.1823	-0.7427
10	IID1	Algoritmo genetico	RNA 3	26.2717	26.2914	-0.7935
10	IID1	Algoritmo genetico	RNA 4	32.4275	32.4505	0.5311
10	IID1	Algoritmo genetico	RNA 5	23.0092	23.0266	0.8843
11	IID2	Algoritmo genetico	RNA 1	27.8418	27.8618	0.2248
11	IID2	Algoritmo genetico	RNA 2	15.3453	15.3586	0.1685
11	IID2	Algoritmo genetico	RNA 4	25.6512	25.6741	-0.7755
11	IID2	Algoritmo genetico	RNA 5	16.4380	16.4593	0.7207
12	IID3	Algoritmo genetico	RNA 1	18.3943	18.4075	0.7311

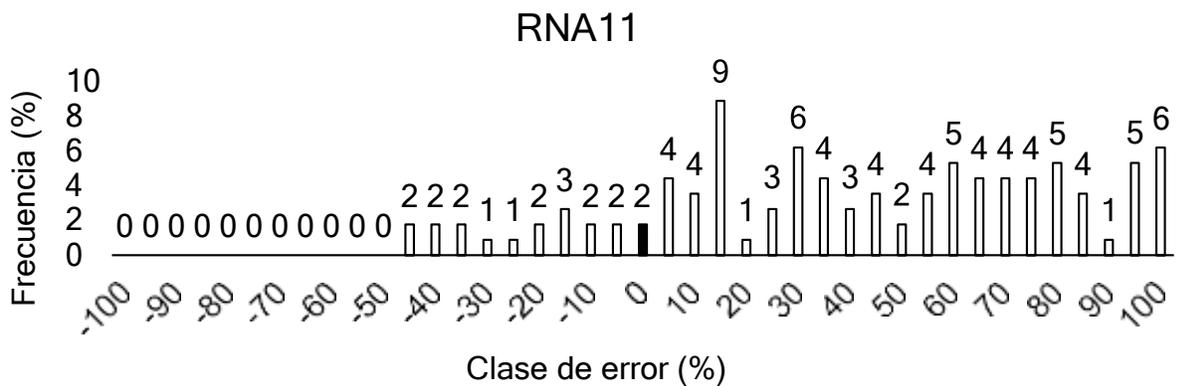
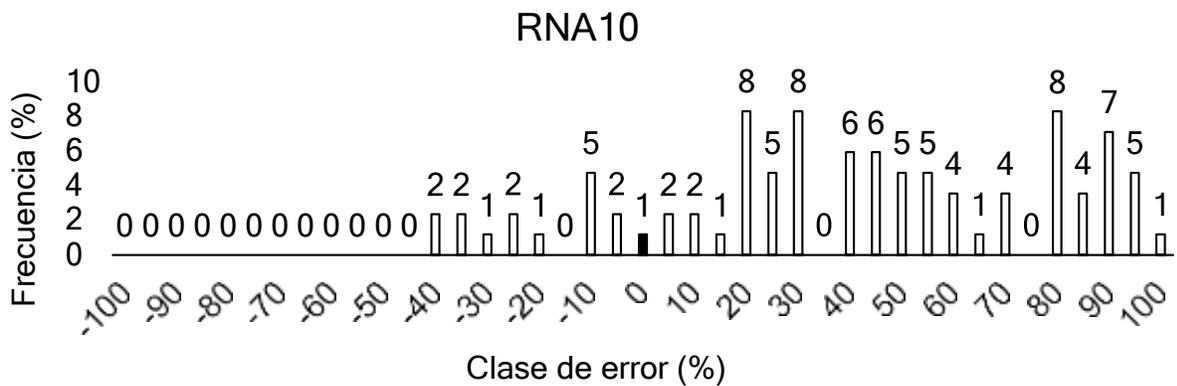
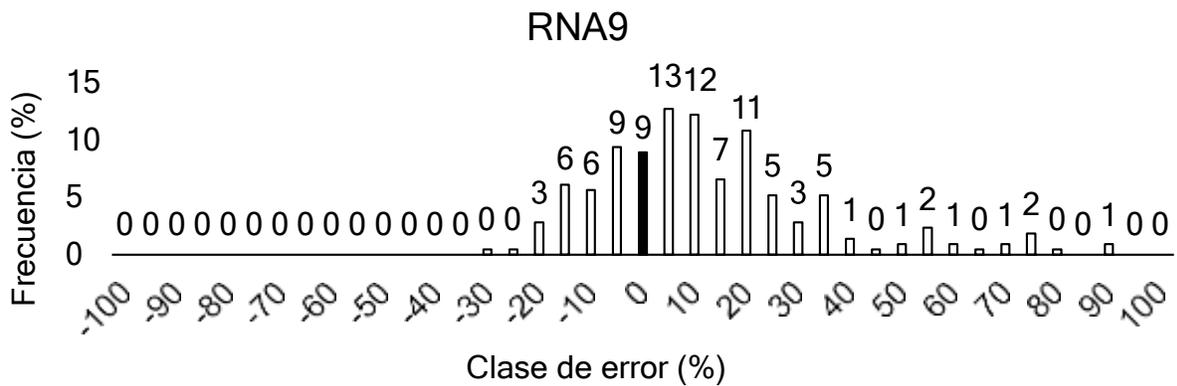
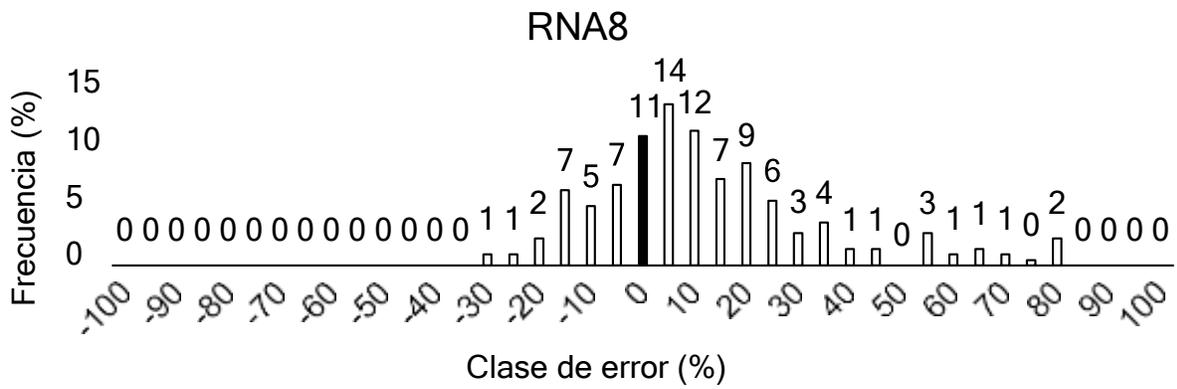
12	IID3	Algoritmo genetico	RNA 2	8.9794	8.9862	0.8418
12	IID3	Algoritmo genetico	RNA 3	20.5889	20.6067	-0.8014
12	IID3	Algoritmo genetico	RNA 4	16.3040	16.3167	-0.6082
12	IID3	Algoritmo genetico	RNA 5	36.2956	36.3215	-0.8993
13	IID1	Neat	RNA 1	13.3986	14.6476	0.9004
13	IID1	Neat	RNA 2	13.4317	14.7102	0.9022
13	IID1	Neat	RNA 3	13.4471	14.7108	0.9014
13	IID1	Neat	RNA 4	13.4081	14.6913	0.9015
13	IID1	Neat	RNA 5	13.4559	14.7077	0.9015
14	IID2	Neat	RNA 1	13.4465	14.7307	0.9084
14	IID2	Neat	RNA 2	13.4059	14.7005	0.9091
14	IID2	Neat	RNA 3	13.4378	14.7234	0.9084
14	IID2	Neat	RNA 4	13.4746	14.7404	0.9078
14	IID2	Neat	RNA 5	13.4430	14.7278	0.9086
15	IID3	Neat	RNA 1	13.4185	14.7054	0.9056
15	IID3	Neat	RNA 2	13.3707	14.6570	0.9036
15	IID3	Neat	RNA 3	13.4777	14.7382	0.9002
15	IID3	Neat	RNA 4	13.4334	14.7112	0.9040
15	IID3	Neat	RNA 5	13.4465	14.7157	0.9031
16	IID1	Hyperneat	RNA 1	13.5232	14.7189	0.9011
16	IID1	Hyperneat	RNA 2	13.4752	14.7284	0.8986
16	IID1	Hyperneat	RNA 4	13.4122	14.6686	0.9002
16	IID1	Hyperneat	RNA 5	13.4722	14.7165	0.8986
17	IID2	Hyperneat	RNA 1	13.4465	14.7356	0.9084
17	IID2	Hyperneat	RNA 2	13.4710	14.7296	0.9078
17	IID2	Hyperneat	RNA 3	13.4237	14.7054	0.9088
17	IID2	Hyperneat	RNA 4	13.4704	14.7427	0.9078
17	IID2	Hyperneat	RNA 5	13.4557	14.7309	0.9084
18	IID3	Hyperneat	RNA 1	13.4526	14.7188	0.9034
18	IID3	Hyperneat	RNA 2	13.3957	14.6875	0.9025
18	IID3	Hyperneat	RNA 3	13.4368	14.6933	0.9027
18	IID3	Hyperneat	RNA 5	13.4226	14.6834	0.9032
19	IID1	RBF Neural Network	RNA 1	0.0004	2.9562	0.9005
19	IID1	RBF Neural Network	RNA 2	0.0004	2.9562	0.9005
19	IID1	RBF Neural Network	RNA 3	0.0004	2.9562	0.9005
19	IID1	RBF Neural Network	RNA 4	0.0004	2.9562	0.9005
19	IID1	RBF Neural Network	RNA 5	0.0004	2.9562	0.9005
20	IID2	RBF Neural Network	RNA 1	0.0004	2.9562	0.9005
20	IID2	RBF Neural Network	RNA 2	0.0004	2.9562	0.9005
20	IID2	RBF Neural Network	RNA 3	0.0004	2.9562	0.9005
20	IID2	RBF Neural Network	RNA 5	0.0004	2.9562	0.9005
21	IID3	RBF Neural Network	RNA 1	0.0004	2.9562	0.9005
21	IID3	RBF Neural Network	RNA 2	0.0004	2.9562	0.9005
21	IID3	RBF Neural Network	RNA 3	0.0004	2.9562	0.9005
21	IID3	RBF Neural Network	RNA 4	0.0004	2.9562	0.9005
21	IID3	RBF Neural Network	RNA 5	0.0004	2.9562	0.9005
22	IID1	Support Vector Machine	RNA 1	-0.1009	2.9838	0.8987
22	IID1	Support Vector Machine	RNA 2	-0.1009	2.9838	0.8987
22	IID1	Support Vector Machine	RNA 3	-0.1009	2.9838	0.8987
22	IID1	Support Vector Machine	RNA 4	-0.1009	2.9838	0.8987
22	IID1	Support Vector Machine	RNA 5	-0.1009	2.9838	0.8987
23	IID2	Support Vector Machine	RNA 1	-0.1954	2.8972	0.9055
23	IID2	Support Vector Machine	RNA 2	-0.1954	2.8972	0.9055
23	IID2	Support Vector Machine	RNA 3	-0.1954	2.8972	0.9055
23	IID2	Support Vector Machine	RNA 4	-0.1954	2.8972	0.9055
23	IID2	Support Vector Machine	RNA 5	-0.1954	2.8972	0.9055
24	IID3	Support Vector Machine	RNA 1	-0.0989	2.9512	0.9010

24	IID3	Support Vector Machine	RNA 2	-0.0989	2.9512	0.9010
24	IID3	Support Vector Machine	RNA 3	-0.0989	2.9512	0.9010
24	IID3	Support Vector Machine	RNA 4	-0.0989	2.9512	0.9010
24	IID3	Support Vector Machine	RNA 5	-0.0989	2.9512	0.9010
25	IID1	Elman	RNA 1	0.0148	2.9605	0.9003
25	IID1	Elman	RNA 2	0.0136	2.9640	0.9001
25	IID1	Elman	RNA 3	0.0158	2.9573	0.9005
25	IID1	Elman	RNA 4	0.0366	2.9620	0.9002
25	IID1	Elman	RNA 5	-0.0235	2.9642	0.9000
26	IID2	Elman	RNA 1	-0.0289	2.8305	0.9092
26	IID2	Elman	RNA 2	0.0039	2.8289	0.9093
26	IID2	Elman	RNA 3	-0.0236	2.8057	0.9109
26	IID2	Elman	RNA 4	0.0306	2.8302	0.9092
26	IID2	Elman	RNA 5	-0.0050	2.8339	0.9090
27	IID3	Elman	RNA 1	-0.0200	2.9190	0.9031
27	IID3	Elman	RNA 2	-0.0629	2.9090	0.9039
27	IID3	Elman	RNA 3	0.0395	2.9159	0.9034
27	IID3	Elman	RNA 4	-0.0709	2.9325	0.9023
27	IID3	Elman	RNA 5	0.0581	2.9260	0.9027
28	IID1	Jordan	RNA 1	0.0084	2.8927	0.9050
28	IID1	Jordan	RNA 2	-0.0213	2.8928	0.9050
28	IID1	Jordan	RNA 3	0.0025	2.8947	0.9048
28	IID1	Jordan	RNA 4	0.0007	2.8914	0.9051
28	IID1	Jordan	RNA 5	0.0083	2.8911	0.9051
29	IID2	Jordan	RNA 1	-0.0161	2.8122	0.9105
29	IID2	Jordan	RNA 2	-0.0246	2.8143	0.9103
29	IID2	Jordan	RNA 3	-0.0033	2.8132	0.9104
29	IID2	Jordan	RNA 4	-0.0347	2.8061	0.9109
29	IID2	Jordan	RNA 5	-0.0222	2.8068	0.9108
30	IID3	Jordan	RNA 1	-0.0055	2.8803	0.9058
30	IID3	Jordan	RNA 2	-0.0175	2.8802	0.9059
30	IID3	Jordan	RNA 3	0.0092	2.8770	0.9061
30	IID3	Jordan	RNA 4	0.0483	2.9066	0.9041
30	IID3	Jordan	RNA 5	0.0250	2.8823	0.9057

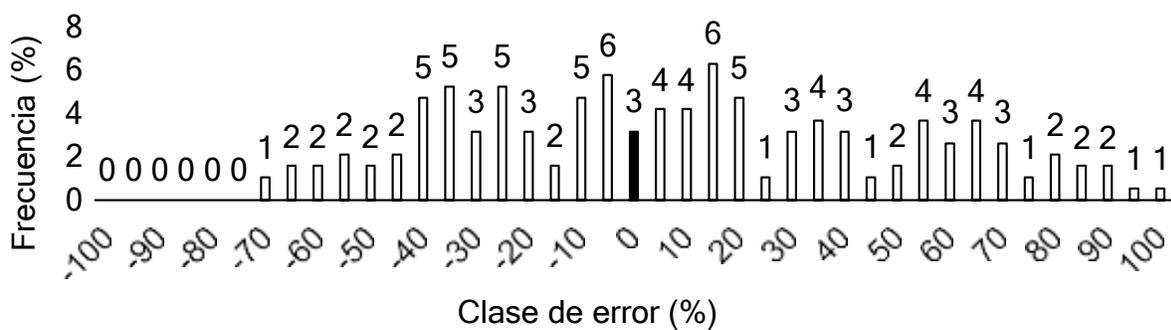
Anexo 5 Distribución de las clases de error para los valores predictivos de los 30 modelos seleccionados de las redes neuronales artificiales



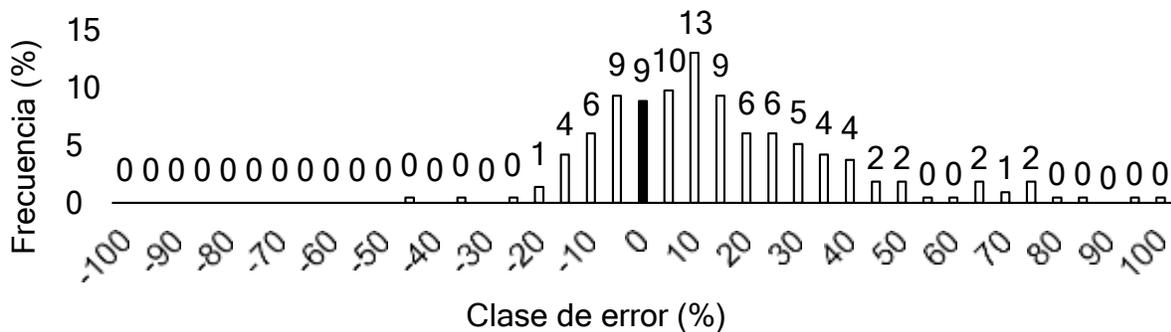




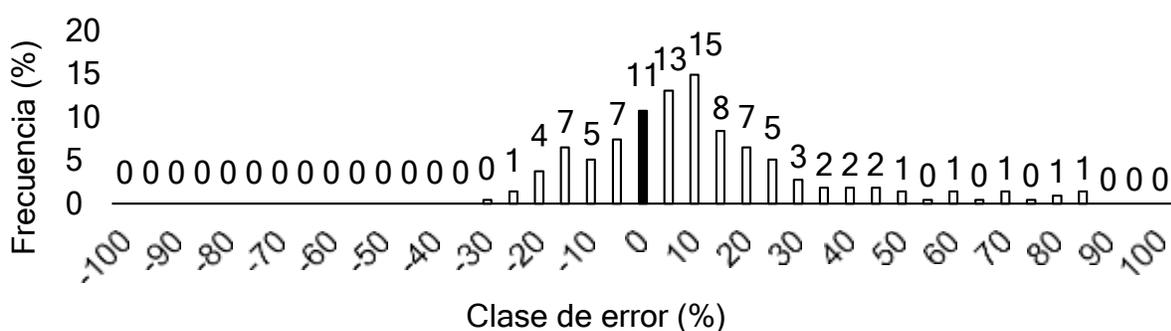
RNA12



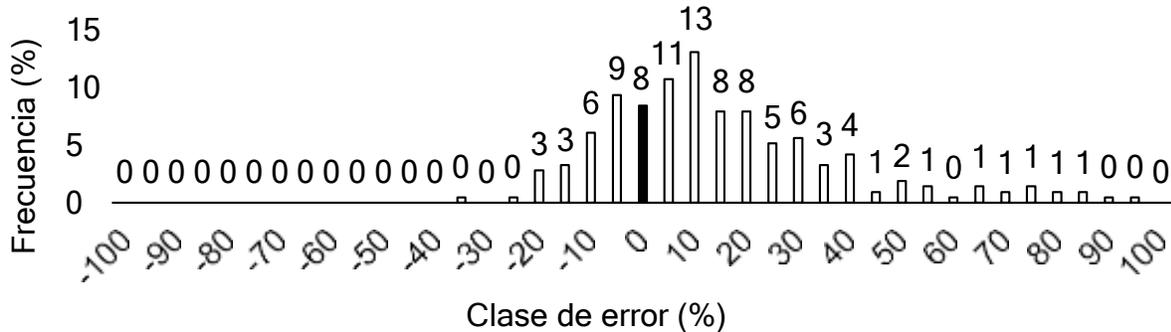
RNA13



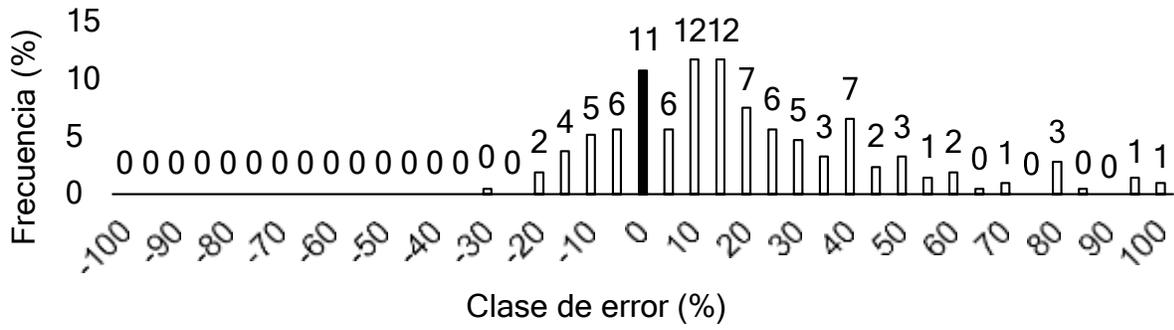
RNA14



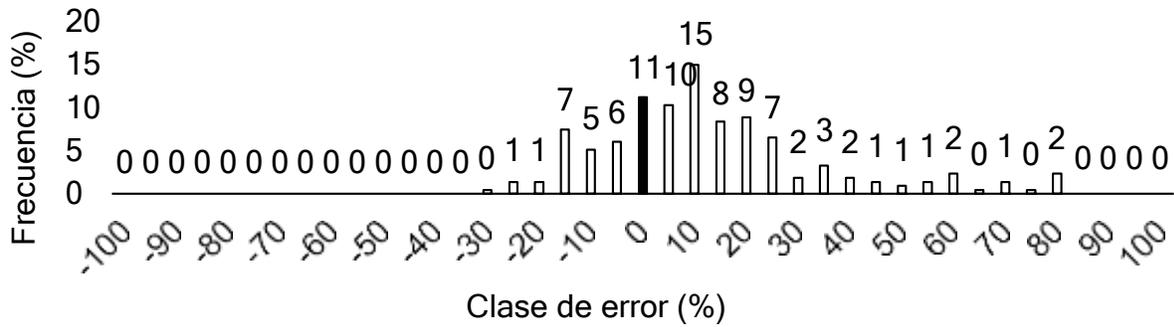
RNA15



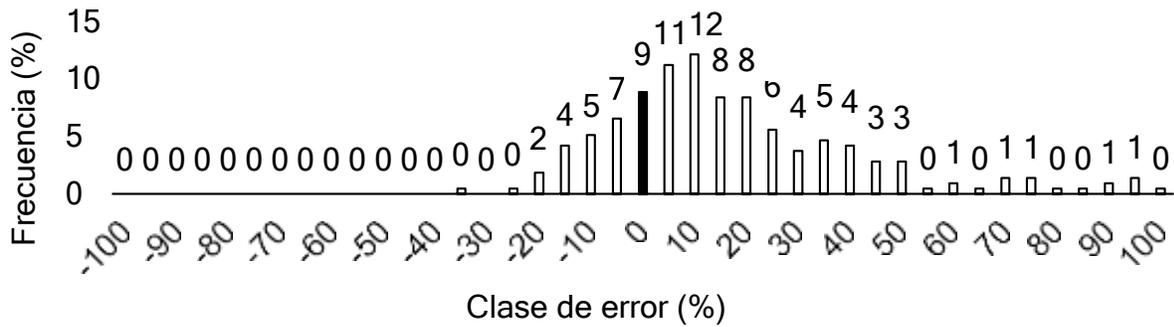
RNA16



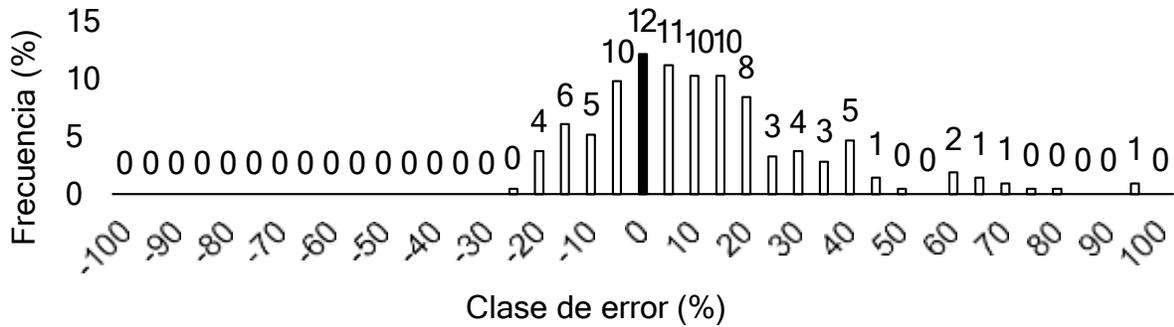
RNA17

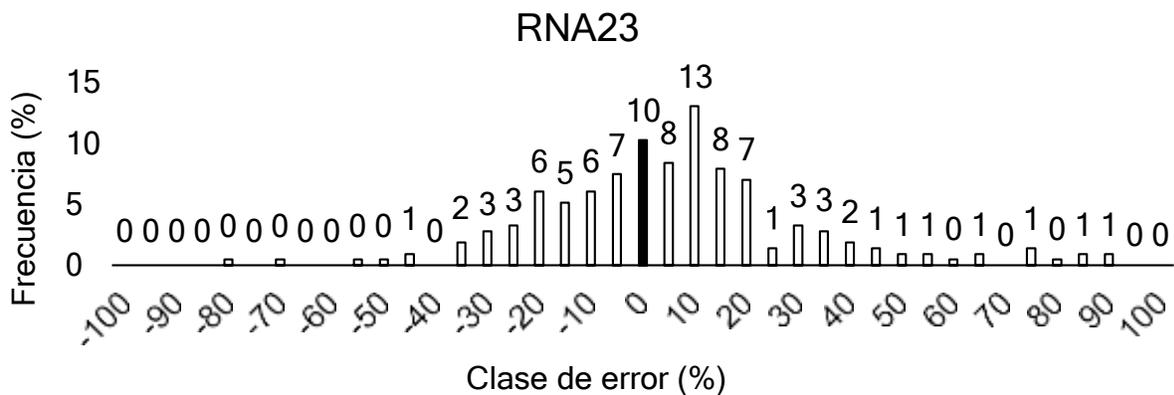
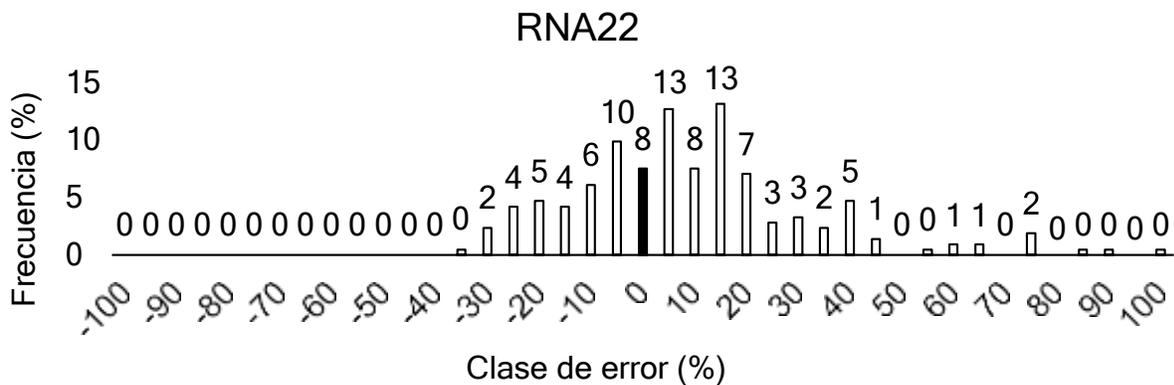
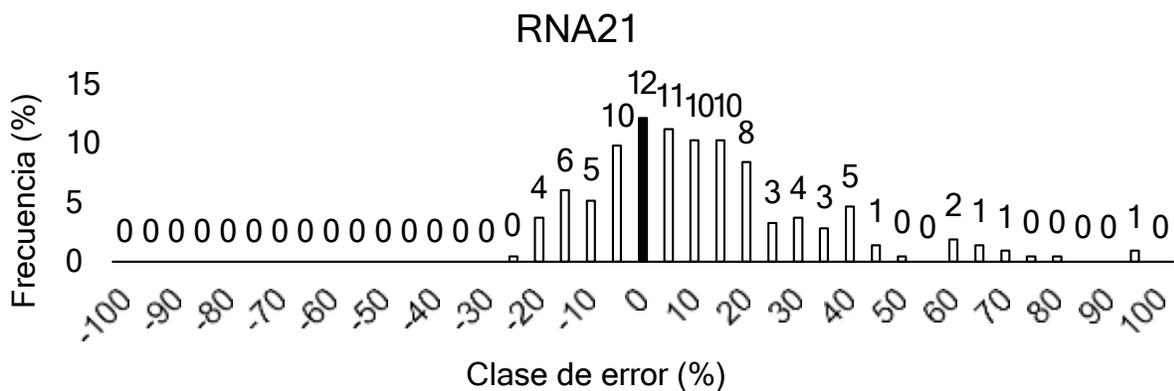
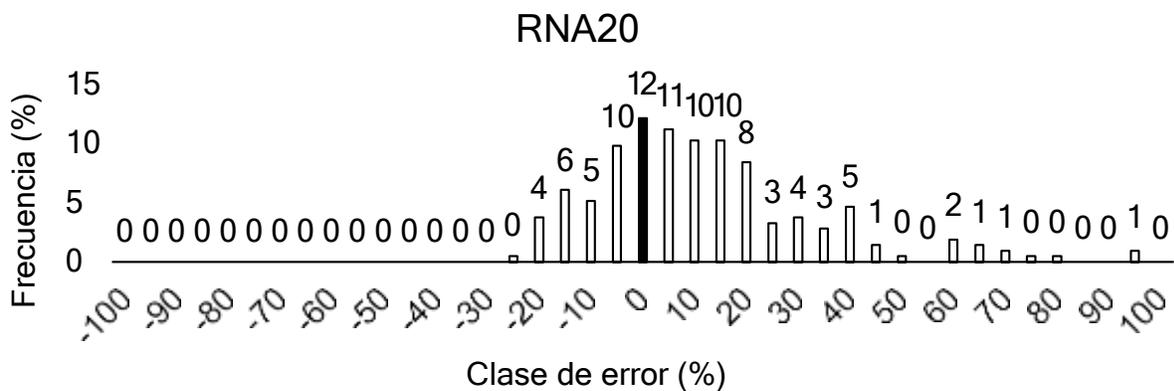


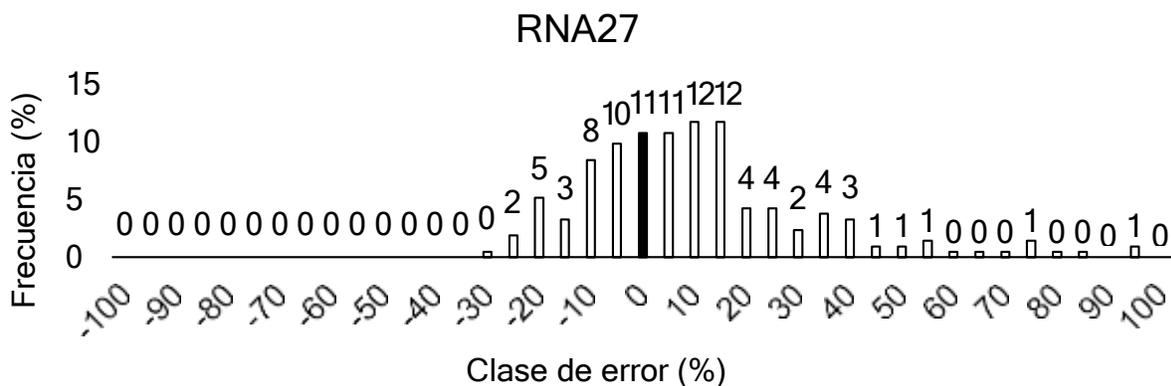
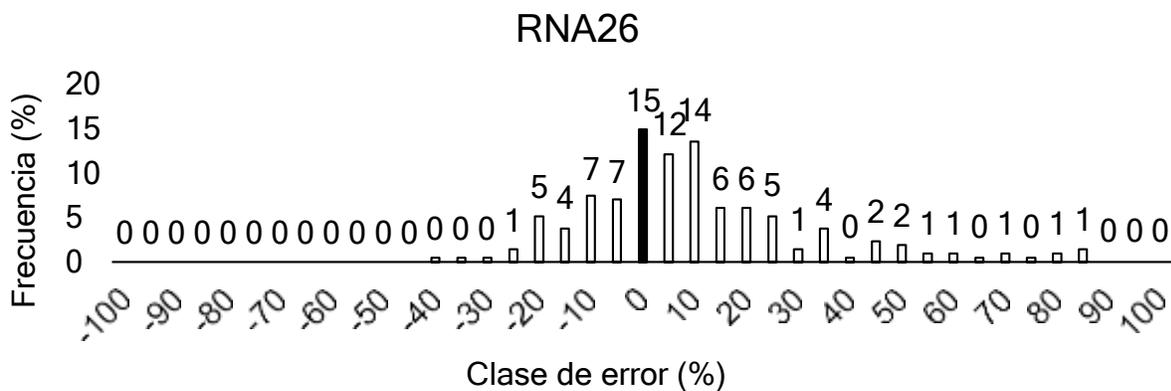
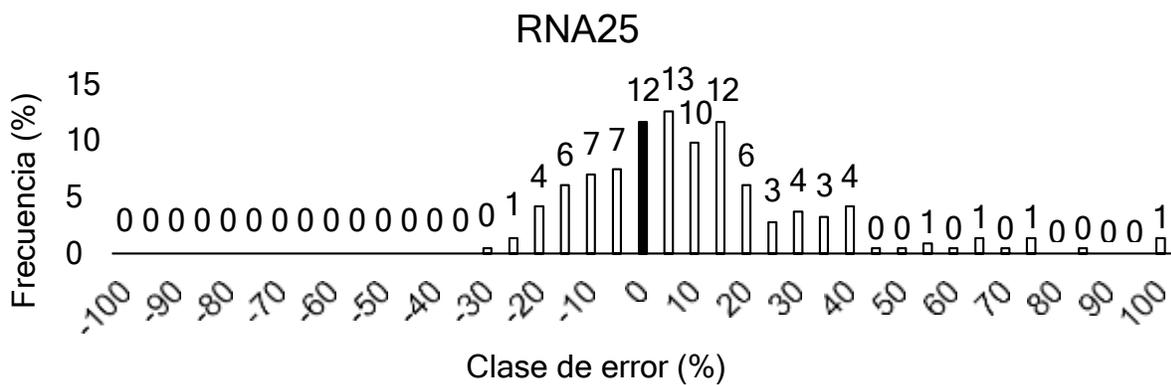
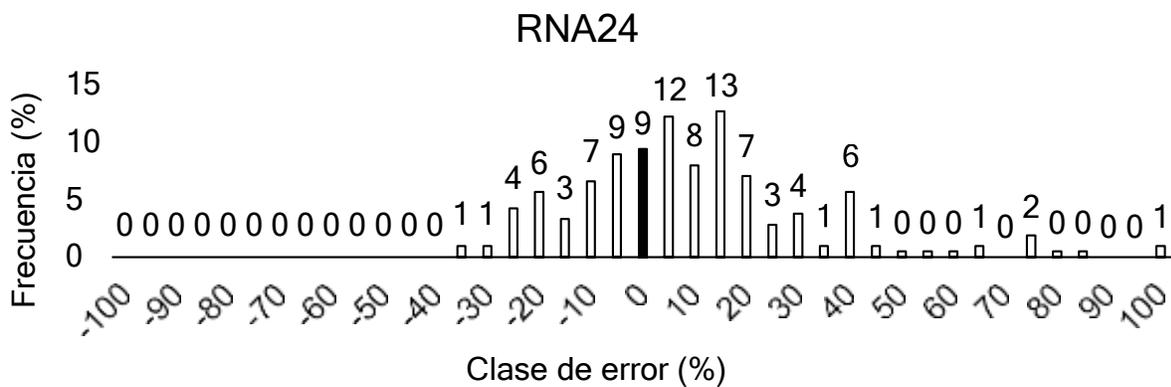
RNA18



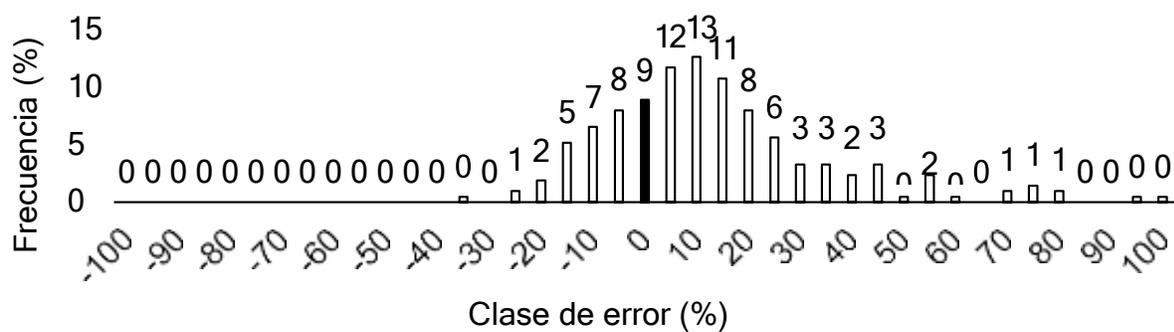
RNA19



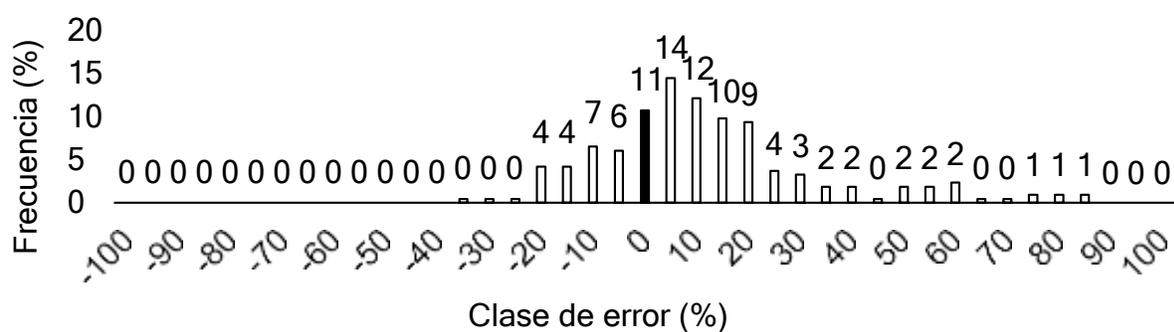




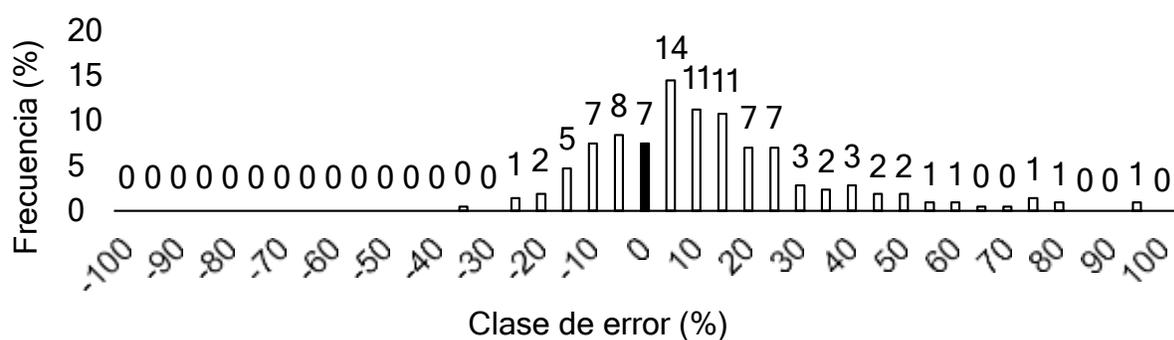
RNA28



RNA29



RNA30



Anexo 6. Panel Fotográfico



Foto 1: Verificación del diámetro del tocón *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo)



Foto 2 y 3: Verificación del volumen y diámetro de trozas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo)



Foto 4 y 5: verificación de árboles en campo y delimitación de parcela de corta 4A Concesión Forestal Aserradero Tarapoto S.A.C



Foto 6: Procesamiento de datos con el equipo de investigación - oficina de la Concesión Forestal Aserradero Tarapoto – Juanjuí

Neuro

Definição das Características das Variáveis

Variável	Não usar	Quantitativa	Qualitativa	Saida
Libro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fecha	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Codigo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DiametroTocon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Volumen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Este	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Norte	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Precipitacion_medio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura_maxima_promedio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura_minima_promedio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura_medio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humedad_relativa_promedio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Evaporacion_promedio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BD1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BD2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BD3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conjunto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OK Limpar

Foto 7: Procesamiento de datos en del inventario forestal (selección de variables)