

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**AMBIENTAL**



**CAPTURA DE CARBONO DE *Theobroma cacao* L CON**  
**MODELAMIENTO Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN**  
**JOSE OLAYA, NIEVA, AMAZONAS**

**Presentado por:**

**Bach. ARLAN JACK CORONEL TORO.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL Y**  
**AMBIENTAL**

**Jaén- Perú**  
**2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 002-2018-SUNEDU/CD  
COORDINACIÓN CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las nueve horas con cuarenta minutos, del día veintiocho de Febrero del dos mil diecinueve, reunidos en la sala de profesores de la Universidad Nacional de Jaén, los Miembros del Jurado, designados mediante resolución N° 042 – 2019 - CO – UNJ del 15 de Febrero del 2019:

- Dra. Ing. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula (Presidente)
- Ing. M. Sc. Santos Clemente Herrera Díaz (Secretario)
- Ing. M. Sc. Wagner Colmenares Mayanga (Vocal)

Con la finalidad de llevar a cabo la Sustentación de Informe de Tesis Titulado: **"CAPTURA DE CARBONO DE *Theobroma cacao* L. CON MODELAMIENTO Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN JOSE OLAYA, NIEVA, AMAZONAS"**, presentado por el tesista: **Coronel Toro Arlan Jack**, en presencia de su asesor de tesis Ph. D. Omar Justo Zeballos Cáceres.

Los Miembros del Jurado, presencian la sustentación del Informe de Tesis denominado: **"CAPTURA DE CARBONO DE *Theobroma cacao* L. CON MODELAMIENTO Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN JOSE OLAYA, NIEVA, AMAZONAS"**, luego se procede a realizar las preguntas correspondientes para ser contestadas por el tesista, los Miembros del Jurado de Tesis luego de escuchar la defensa del tesista, deliberan y deciden aprobar la sustentación, siendo el calificativo final: **QUINCE (15) BUENA.**

Deficiente	Regular	Buena	Muy Buena	Sobresaliente
0 - 10	11-12	13-14-15	16-17-18	19-20

Siendo las diez horas con once minutos, del mismo día, se procede a firmar la presente en señal de conformidad y elevar a las autoridades competentes para el trámite correspondiente.

Presidente

Nombre: Dra. Ing. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

Firma

Secretario

Nombre: Ing. M. Sc. Santos Clemente Herrera Díaz

Firma

Vocal

Nombre: Ing. M. Sc. Wagner Colmenares Mayanga

Firma

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

Este trabajo va dedicado a personas muy especiales, que siempre han estado a mi lado apoyándome y dando lo mejor de sí para que siga progresando personal y profesionalmente.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que han conformado parte en mi formación en todos estos años.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A la Universidad Nacional de Jaén, por mi formación académica a nivel de pregrado.

Al PhD. Omar Zeballos Cáceres por toda la colaboración y ayuda brindada como asesor, durante la elaboración de este proyecto. Y también como profesor, gracias por su tiempo, su apoyo así como por la sabiduría que me transmitió en el desarrollo de mi formación profesional.

A la Dr. Noemí León Roque por toda la colaboración y ayuda brindada durante la elaboración de este proyecto.

A Gianmarco Goycochea Casas por sus valiosas aportaciones, confianza, apoyo brindado y por la gran calidad humana que me ha demostrado con su amistad.

A mi padre, que siempre lo he sentido presente en mi vida, por ser en apoyo en mi carrera, en mis logros, en todo. Y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	12
<b>2.1. Investigaciones de Captura de Carbono con redes neuronales artificiales</b> .....	12
<b>2.2. Dióxido de Carbono y Cambio Climático</b> .....	14
<b>2.3. Biomasa en los ecosistemas</b> .....	15
<b>2.4. Ciclo de Carbono en ecosistemas forestales</b> .....	15
<b>2.4.1. Carbono almacenado</b> .....	15
<b>2.4.2. Carbono fijado</b> .....	16
<b>2.5. Densidad de la madera</b> .....	16
<b>2.6. Almacenamiento de Carbono en el Fuste</b> .....	17
<b>2.7. El cultivo de cacao en el distrito de Nieva</b> .....	18
<b>2.7.1. Clasificación Taxonómica</b> .....	19
<b>2.8. Modelación matemática</b> .....	19
<b>2.9. Definición y empleo de Taper</b> .....	20
<b>2.10. Relación altura versus diámetro</b> .....	21
<b>2.11. Redes neuronales artificiales (RNA)</b> .....	21
<b>2.11.1. Función de activación de una red neuronal artificial</b> .....	23
<b>2.11.2. Clasificación de una red neuronal artificial</b> .....	23
<b>2.11.3. Algoritmo de las redes neuronales artificiales</b> .....	24
<b>2.11.4. Funcionalidad de las redes neuronales</b> .....	24
<b>2.11.5. Aplicaciones generales de la RNA en la ingeniería forestal</b> .....	26
<b>2.11.6. Neuroforest</b> .....	28

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	29
<b>3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación</b> .....	29
<b>3.2. Materiales y equipo.</b> .....	30
<b>3.2.1. Materiales de campo.</b> .....	30
<b>3.2.2. Equipos.</b> .....	30
<b>3.2.3. Materiales Biológicos.</b> .....	30
<b>3.2.4. Materiales Informáticos.</b> .....	30
<b>3.3. Metodología</b> .....	30
<b>3.3.1. Trabajo de campo.</b> .....	30
<b>3.3.2. Trabajo de laboratorio.</b> .....	33
<b>3.3.3. Trabajo de gabinete</b> .....	33
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	38
<b>4.1. Densidad de la madera.</b> .....	38
<b>4.2. Volumen en pie de los árboles</b> .....	39
<b>4.3. Biomasa y captura de Carbono del fuste de los árboles.</b> .....	39
<b>4.4. Resultado estadístico</b> .....	40
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	49
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	50
<b>VIII. ANEXOS.</b> .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
<b>Tabla 1: Parcelas de intervención de estudio.</b> .....	31
<b>Tabla 2: Densidad media, biomasa fustal y edad del Theobroma cacao L.</b> .....	38
<b>Tabla 3: Volumen en pie de los árboles.</b> .....	39
<b>Tabla 4: la Biomasa y la Captura de Carbono Observada y Estimada.</b> .....	40
<b>Tabla 5: Resultados estadísticos con modelamiento.</b> .....	40

<b>Tabla 6: Resultados estadísticos con RNA.</b> .....	43
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<b>Figura 1: Estructura de una neurona biológica.</b> .....	22
<b>Figura 2: Estructura de una red neuronal artificial (Fuente: Binoti, 2010).</b> .....	23
<b>Figura 3: Principales funciones de activación en las redes neuronales artificiales (Fuente: Castro, 2011).</b> .....	23
<b>Figura 4: Conexiones de redes feedforward y feedback.</b> .....	24
<b>Figura 5: Proceso de funcionalidad matemática de una red neuronal artificial.</b> .....	25
<b>Figura 6: Procedimiento general computarizado de la construcción de una red neuronal artificial.</b> .....	26
<b>Figura 7: Aplicación de redes neuronales artificiales en los sistemas de información geográfica.</b> .....	27
<b>Figura 8: Aplicación de redes neuronales artificiales en las estimaciones de volumen.</b> .....	27
<b>Figura 9: Mapa de ubicación de Jose Olaya.</b> .....	29
<b>Figura 10. Correlación de la Captura de Carbono observado y estimado con modelamiento.</b> 41	
<b>Figura 11. Residuo (%) de la Captura de Carbono observado con modelamiento.</b> .....	42
<b>Figura 12. frecuencia (%) relacionadas con las clases con modelamiento.</b> .....	42
<b>Figura 13. Correlación de la Captura de Carbono Observado y Estimado con RNA.</b> .....	44
<b>Figura 14. residuo (%) de la Captura de Carbono observado con RNA.</b> .....	44
<b>Figura 15. frecuencia (%) relacionadas con las clases con RNA.</b> .....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
<b>ANEXO 1. Inventario y datos de los árboles de Theobroma cacao L. en cada parcela de Evaluación.</b> .....	58
<b>ANEXO 2. Cuantificación de Captura de Carbono del Theobroma cacao L. Con Modelamiento y Resultados Estadísticos.</b> .....	62
<b>ANEXO 3. Cuantificación de Captura de Carbono del Theobroma cacao L. Con Redes Neuronales Artificiales y Resultados Estadísticos.</b> .....	66
<b>Anexo 4. Mapas de ubicación de la dispersión de los árboles de Theobroma cacao L. en cada parcela de Evaluación.</b> .....	70
<b>ANEXO 5. VISTAS FOTOGRÁFICAS</b> .....	80

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar la Captura de Carbono del fuste del *Theobroma cacao* L con modelamiento y redes neuronales artificiales en el sector José Olaya, distrito de Nieva-Amazonas, aplicando técnicas de modelación matemática con sistemas computacionales para la proyección por hectárea de Captura de Carbono. Realizándose un muestreo al azar simple (MAS) considerando 10 parcelas de una ha de cacao y 10 árboles (muestra) con un total de 100 árboles muestra aleatorios por parcela considerando las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a cualquier altura por encima del DAP (d), altura total (H), altura donde el diámetro “d” es considerado (h). Para determinar la densidad media de la madera se extrajeron muestras de internas fustales con el Barreno de Pressler considerando una muestra de 100 cuerpos de prueba para todas las parcelas de evaluación. De los datos obtenidos en campo se procedió a calcular el volumen en pie, la biomasa del fuste y la cuantificación de la captura de Carbono de los árboles, para posteriormente entrenar y validar las estimaciones y proyecciones con redes neuronales artificiales utilizado el software Neuroforest® (versión 3.3); obteniendo como resultado de Biomasa total de 323.829 Kg, la captura de Carbono observado del fuste de los árboles de todas las parcelas evaluadas fue 161.915 Kg de C, la Captura de Carbono estimado con modelamiento de todas las parcelas evaluadas fue 155.476 Kg de C, con una correlación de 0.7838 y la Captura de Carbono estimado con Redes Neuronales Artificiales de todas las parcelas evaluadas fue 162.067 Kg de C, con una correlación de 0.9859, estadísticamente es más confiable siendo así el mejor método para estimar la Captura de Carbono.

**Palabras clave:** Captura de Carbono, redes neuronales artificiales, *Theobroma cacao* L.

## SUMMARY

The objective of this study was to quantify the Carbon Capture of the *Theobroma cacao* L shaft with modeling and artificial neuronal networks in the sector José Olaya, District of Nieva-Amazonas, applying mathematical modeling techniques with computer systems for the projection of Carbon capture per hectare. Performing a simple random sampling (MAS) Considering 10 plots of one hectare of cocoa and 10 trees (sample) with a total of 100 trees random sample per plot considering the variables diameter at the height of the chest (DAP), diameter at any height by Up the DAP (d), total height (h), height where the diameter "D" is considered (h). In order to determine the average density of the wood, samples of internal whips were extracted with the Pressler hole, considering a sample of 100 test bodies for all the evaluation plots. From the data obtained in the field volume in foot, the biomass of the shaft and the quantification of the carbon capture of trees was calculated, to later feed and validate the estimates and projections with the artificial neuronal networks Neuroforest® software (version 3.3); obtaining a result of 323.829 kg biomass, the observed Carbon Capture of the shaft of the trees of all the plots evaluated was 161,915 kg of c, the estimated Carbon capture with modeling of all the plots evaluated was 155,476 kg of c , with a correlation of 0.7838 and the estimated Carbon sequestration with artificial neural networks of all the plots assessed was 162,067 Kg of C, with a correlation of 0.9859, statistically it is more reliable being thus the best method to estimate the capture of Carbon.

**Key words:** Carbon Capture, artificial neural networks, *Theobroma cacao* L.

## I. INTRODUCCIÓN

El creciente deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente, el calentamiento progresivo del globo terrestre y la pérdida de la capa de ozono son, entre otras, las razones más importantes que en la actualidad están poniendo en peligro la existencia de la vida en el planeta (Soca, Francisco, Simón y Roche, 2003). La concentración de gases de efecto invernadero (GEI), como son: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), metano y óxidos nitrosos, en la atmósfera, han aumentado considerablemente, lo cual fortalece el efecto invernadero del planeta. Unos de los gases del efecto invernadero que contribuye mayormente al calentamiento global es el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), se ha calculado su contribución de 50 a 75%, entre los gases traza, su concentración en la atmosfera aumento en 280 ppm (partes por millón) en el año de 1750 y 379 ppm en el año 2004, así incrementándose una tasa anual mayor a un 1ppm. (Castro, Arteaga, Vázquez y Jiménez, 2002; Epstein y Rogers, 2004).

El cultivo del *Theobroma cacao* L., es uno de los aportes más importantes de la agricultura, es originario de las zonas tropicales de América. En la selva peruana se encuentra una gran diversidad de especies de cacao. Los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales que tienen la capacidad de captar el CO<sub>2</sub> atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital de la fotosíntesis como toda planta, en general, se puede concluir que las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el Carbono de la atmósfera (en forma de CO<sub>2</sub>) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en C (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa (Carbajal, 2008).

Por lo tanto, ¿Cuánto es el Carbono capturado por el fuste de poblaciones de *Theobroma cacao* L. con redes neuronales artificiales en el sector José Olaya distrito Nieva, Amazonas? La estimación de la biomasa es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de Carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y, representa la cantidad potencial de Carbono que puede ser liberado a la

atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, Sathaye, Cannell, y Kauppi, 1996).

Sin embargo, para obtener una mejor estimación de biomasa, utilizamos herramientas de inteligencia artificial como las redes neuronales artificiales (RNA), que vienen siendo utilizadas en el sector forestal, en sustitución a los modelos de regresión, presentando superioridad de precisión de las estimaciones (Casas, 2018; Gorgens, 2006; Silva, Spatti, y Flauzino, 2010).

Es por ello que el presente proyecto de investigación busca integrar nuevas técnicas de Cuantificación de Captura de Carbono fustales para plantaciones *Theobroma cacao* L, asociando modelaciones existentes con sistemas computacionales de la inteligencia artificial de redes neuronales artificiales que sería útil para desarrollar proyectos de intercambio de bonos de Carbono o intercambio de gases de efecto invernadero, planificar las estimaciones a futuro y poder tomar decisiones. Asegurando una producción más sustentable y asociarlo con el potencial de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, ayudando así a mejorar la calidad de vida de los agricultores y productores del *Theobroma cacao* L en el sector José Olaya, distrito Nieva-provincia de Condorcanqui, región de Amazonas.

El objetivo general de este trabajo de investigación es evaluar la Captura de Carbono del fuste del *Theobroma cacao* L con modelamiento y redes neuronales artificiales en Jose Olaya, distrito de Nieva-Amazonas, y los objetivos específicos fueron:

- Determinar la Captura de Carbono observado del fuste del *Theobroma cacao* L y la Biomasa de todas las parcelas evaluadas.
- Determinar la Captura de Carbono del fuste del *Theobroma cacao* L con modelamiento matemático.
- Determinar la Captura de Carbono del fuste del *Theobroma cacao* L con Redes Neuronales Artificiales.
- Determinar la confiabilidad de los sistemas de modelaciones matemáticas y Redes Neuronales artificiales en la cuantificación de Captura de Carbono en el fuste del *Theobroma cacao* L.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Investigaciones de Captura de Carbono con redes neuronales artificiales.

En el mundo se incrementa también la preocupación por los efectos ecológicos negativos que se destacan en las tecnologías actuales del uso del suelo, especialmente las que requieren grandes cantidades de insumos no renovables y que inciden sobre la cobertura vegetal natural. Mientras la humanidad consume menos de 1% de la productividad primaria terrestre, ocupa o destruye casi 40% del área total disponible para producir sus bienes consumibles (Vitousek *et al.*, 1986).

Dentro de la búsqueda de estrategias que ayuden a mitigar efectos del cambio climático como el calentamiento global, por gases como el CO<sub>2</sub>, se han desarrollado modelos computacionales que predicen la interceptación de Carbono de algunas especies de plantas. Uno de estos modelos es el CREFT “modelo de crecimiento y captura de Carbono para especies forestales en el trópico”, el cual es una herramienta diseñada en Colombia, que además de cuantificar la captura de Carbono, predice el crecimiento de algunas especies forestales nativas e introducidas en condiciones del trópico (Riaño, 2005).

Las ecuaciones con mejor ajuste para el tipo forestal (biomasa forestal), son las basadas en el modelo alométrico con forma linealizada mediante logaritmo natural (Méndez, Luckie, Capó y Nájera, 2011). Diversos modelos de regresión han sido propuestos y empleados para el cálculo del perfil del fuste, entre ellos las ecuaciones Taper puede resultar con estimativas precisas para diámetros, alturas comerciales y volumen comercial. Los modelos de Kozak (1969), de Demaerschalk (1972) y de Ormerod (1975) presentan ventaja al modelar todo el fuste como una única expresión, permitiendo transformarlas en ecuaciones de volumen (Campos y Leite, 2013).

El trabajo inicial en el área de redes neuronales artificiales fue el año 1943 con el título “A logical Calculus of the immament in Nervous Activity”, que viene hacer el primer

prototipo artificial de un neurona biológico, desarrollado por el psiquiatra y neuroanatomista Warren McCulloch y por el matemático Walter Pitts (McCulloch y Pitts, 1943).

En el año 1949, Donald Hebb presentó estudios sobre el aprendizaje de redes biológicas y artificiales, quien contribuyó con una teoría para explicar el aprendizaje en neuronas biológicas, que actualmente es conocida y utilizada en varios algoritmos de aprendizaje (Braga, A. D. P., Carvalho, A. C. P. L. F. y Ludermir, 2000; Haykin, 2001; Binoti, 2010).

En la década de los 60, Widrow y Hoff, propusieron una regla de aprendizaje basado en el método de gradiente de minimización del error de salida con respuesta lineal, conocido como la regla delta.

En 1969, presentaron limitaciones e incapacidades de resolver problemas no lineales separables, entre ellos el modelo “Perceptron” propuesto por Fran Rosenblatt en 1958, que era el más usual de aquella época; estas incapacidades detuvieron los estudios en el área de redes neuronales. En el año 1982, retornan las investigaciones en el área debido al artículo publicado por John Hopfield que demostró una relación entre redes auto asociativo y sistemas físicos. Posteriormente, en 1986, Rumelhart, Hinton, y Williams, describieron el algoritmo de entrenamiento “error back-propagation” (Rumelhart et al, 1986).

En el sector forestal latinoamericano, (Binoti ,2010), utiliza redes neuronales artificiales con variables numéricas como la edad, área basal, dap, altura total, volumen y variables categóricas como clase de suelo, textura, espaciamiento y pendiente, presentando resultados satisfactorios para ambos niveles, por población y por árboles individuales, comprobando el potencial de la técnica en solución de problemas del manejo forestal y procesos de toma de decisiones (Alcântara, 2015).

Manzo y Hernández (1997), realizaron una comparación de métodos para el cálculo de la densidad del fuste donde el método empírico, utilizando el barrenado de Pressler, es altamente confiable en la estimación de la densidad en muestras pequeñas de madera, que tienen forma geométrica regular.

Estudios similares fueron obtenidas por Binoti, (2010, 2012); Magalhães, (2014); Da Silva Binoti, (2014); Binoti, (2014); Cordeiro, Pereira, Binoti, da Silva Binoti y Leite, (2015); al analizar el desempeño de redes neuronales artificiales para el estimar el volumen del fuste.

## **2.2. Dióxido de Carbono y Cambio Climático.**

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera son afectadas principalmente por dos procesos antropogénicos: emisión de CO<sub>2</sub> por el consumo de combustión fósil y por cambios en uso de suelo causado por deforestación. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se ha incrementado de 280 ppm a 350 ppm en los pasados 250 años donde algunas proyecciones indican que para el año 2100 la concentración podría alcanzar 630 ppm (Nordhaus ,1991).

La incorporación global de CO<sub>2</sub> en la atmósfera como resultado del uso de combustibles fósiles, más las emisiones industriales como la producción de cemento, muestran un incremento exponencial desde 1896 (a un promedio de 4% anual), con una importante reducción durante las dos guerras y la crisis económica de los años treinta. La emisión promedio como resultado del uso de combustible fósil de 1980 a 1989, se estimó en 5.5 gigatoneladas de Carbono por año, mientras que la emisión promedio actual se calcula en 6.2 gigatoneladas de Carbono anual (IPCC, 1995).

La vegetación y el suelo sin manejo forestal retienen de 20 a 100 veces más Carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. De manera que la liberación de Carbono a la atmósfera como efecto de los cambios en el uso del suelo, pero principalmente de la deforestación, entre 1850 y 1987 se ha estimado entre 80 y 150 gigatoneladas de Carbono. Los componentes de los flujos en la atmósfera son: la quema asociada con los cambios de uso del suelo; la descomposición de la biomasa in situ (raíces, tocones, ramas, hojarasca, etc.); oxidación de la madera cortada (papel, madera, aserrín, etc.) y la escasa regeneración de masas vegetativas (Houghton & Skole, 1990).

### **2.3. Biomasa en los ecosistemas**

La biomasa de una comunidad de plantas se define como su masa seca total, considerándose dentro de esta, a la biomasa aérea como el compartimiento más importante en proyectos de Captura de Carbono, tanto en peso como en su tasa de cambio (Zapata, 2003). Su acumulación se produce cuando la cantidad de C fijado en el proceso de fotosíntesis, es exactamente igual a la cantidad de energía liberada durante la respiración (punto de compensación de la luz) y va hasta un límite en el cual un aumento en la intensidad de la luz, no ocasiona un aumento en la tasa fotosintética (punto de saturación lumínica). Ambos puntos dependen de la especie, el tipo de follaje del árbol, condiciones ambientales, nivel de nutrientes disponible y potencial hídrico (Vásquez, 1987).

Los estudios sobre crecimiento de biomasa, tienen como fin entender los ciclos de energía y de los nutrientes. “También se usan para estudiar el efecto de la vegetación en el ciclo global del CO<sub>2</sub>” (Brown, 1997, p.35).

### **2.4. Ciclo de Carbono en ecosistemas forestales**

El ciclo del Carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO<sub>2</sub> y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO<sub>2</sub> así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO<sub>2</sub>. “Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultados que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO<sub>2</sub> y regrese a la atmósfera” (Ordoñez, 1999, p.81).

#### **2.4.1. Carbono almacenado**

Hace referencia a la cantidad de Carbono que se encuentra en un ecosistema vegetal, en un determinado momento. “Tiene en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de

inventarios forestales” (Segura, 1997, p.34). “Generalmente, este tipo de Carbono se paga por conservación de bosques y no puede ser liberado a la atmósfera si se accede a un pago por servicios ambientales” (Ramírez, 1999, p.17). El Carbono almacenado se expresa en t de C ha-1.

#### **2.4.2. Carbono fijado**

Se refiere al flujo de Carbono dentro de una unidad de área cubierta con vegetación en un lapso de tiempo dado. Su cuantificación permite predecir el comportamiento del Carbono en cualquier momento durante el crecimiento de la población. “Este tipo de Carbono depende de las características de la especie, la tasa de crecimiento y la longevidad, así como también de las condiciones del sitio, como localización, clima y rotación” (Gutiérrez, 2002, p.2). Se expresa en t de C ha-1 año-1.

### **2.5. Densidad de la madera**

La densidad básica o relativa de la madera tiene un efecto importante sobre el rendimiento y calidad del producto final y se considera como la propiedad de la madera más importante para casi todos los productos maderables derivados de las especies forestales (Einspahr, D.W., Van Buijtenen y Peckham, 1969). Además, la productividad total en biomasa de un rodal no puede determinarse a menos que se conozca la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbert, 1984). Por otro lado, la densidad de la madera es una propiedad que muestra una amplia variación entre y dentro de especies, así como un fuerte control genético, por lo que es posible manipularla genéticamente” (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Por todo lo anterior, resulta de gran importancia desarrollar métodos rápidos, simples y precisos para la estimación de la densidad de la madera en especies forestales.

Para realizar la estimación de la densidad de la madera en un punto del árbol se han desarrollado procedimientos indirectos como el uso del "Pilodyn" (Cown, 1978) y del durómetro (Godfrey y Garthwaite, 1984) que proporcionan una rápida estimación de esta propiedad con base en la resistencia de la madera a la penetración del objeto (Sprague, Talbert, Jett y Bryant, 1983; Notivol, E., Gil, L. A. y Pardos, 1992), de manera que la estimación de la densidad corresponde a la parte más exterior del árbol y no representa necesariamente un valor promedio de toda la

sección del fuste, dado que la densidad de la madera varía a lo largo y ancho del fuste (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Hasta ahora, la obtención de muestras de madera con taladro de Pressler es el método de estimación empleado con mayor frecuencia. La obtención de las virutas (cilindros) de madera permite estudiar varias características de la madera en forma simultánea, como la edad, el incremento anual, la densidad y las características de madera temprana y tardía en el anillo de crecimiento en diferentes edades del árbol, entre otras. “Para la estimación de la densidad de la madera en estas muestras pequeñas existen varias técnicas, desde las más sencillas entre las que se tiene el método por desplazamiento de agua y el método de máximo contenido de humedad” (Smith, 1955, p.4), hasta las más modernas como es el empleo de rayos-X (Jozsa y Brix, 1989).

## **2.6. Almacenamiento de Carbono en el Fuste**

El 90 % de la biomasa se encuentra acumulada en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica. (Leith y Raev cit. En Rodríguez, Jiménez, Aguirre y Treviño Garza, 2006).

Tanto en bosques como en plantaciones forestales, el Carbono se acumula en cuatro fuentes principales: la biomasa arriba del suelo que corresponde a tallos leñosos o fustes de árboles y arbustos, junto con la biomasa de la vegetación herbácea. Biomasa por debajo del suelo, que corresponde al sistema radical o rizósfera, constituida principalmente por las raíces finas y gruesas, tanto de árboles como de arbustos. La hojarasca y otra materia vegetal muerta depositada sobre el suelo, que constituye la necromasa del sistema y finalmente el Carbono contenido en el suelo, como resultado de la humificación de la materia orgánica (Roy, Saugier y Mooney 2001; Hoover, 2008).

En general es aceptado que la tasa de fijación de Carbono por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en rodales jóvenes que en rodales maduros, pero el almacenamiento total de Carbono en el sistema es mayor en los bosques maduros (Cadena y Ángeles, 2005), considerando que en “los ecosistemas terrestres el Carbono queda retenido en la biomasa aérea, mantillo, madera muerta, biomasa

subterránea y en el suelo a través del tiempo” (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2000, p.377). De esta manera, los ecosistemas de bosques se destacan por su gran capacidad de fijar Carbono en sus estructuras, de manera particular lo fijan en forma estable en la parte leñosa. Así, se ha estimado que los árboles asimilan y almacenan grandes cantidades de Carbono durante toda su vida (Ordoñez y HJ de Jong, 2001) y en el fuste de un árbol completo es donde se almacena aproximadamente 84% de biomasa de la cual 46% es Carbono (Avendaño, Acosta, Carrillo, y Etchevers , 2009).

## **2.7. El cultivo de cacao en el distrito de Nieva**

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie vegetal cuyo centro de origen se halla en la cabecera de los ríos que forman la cuenca amazónica. En esta vasta región, se encuentra una gran variabilidad genética de cacao silvestre semi cultivado y cultivado (Enríquez, 1985; Rondón, 1990)

Según la Enciclopedia de Salud, Dietética y Psicología (2012), el cacao es una baya denominada mazorca o maraca, con forma de calabacín alargado que al madurar se vuelve amarilla o rojiza. Cada baya contiene de 30 a 50 semillas. Los granos de Cacao fermentados, secados y tostados se usan para hacer chocolate. El árbol de cacao pertenece al género *Theobroma*, que, en griego, significa “alimento de los dioses”. Este género contiene varias especies, pero solamente una, *Theobroma cacao* L, se cultiva comercialmente y es un cultivo de importancia económica para muchos agricultores que se dedican a este cultivo a tal punto de convertirse en el eje del sistema productivo. La vasta mayoría de las plantaciones (70 por ciento a 90 por ciento), la cultivan los pequeños agricultores cuyas plantaciones son menores de tres hectáreas, y el resto se cultiva en áreas mayores. El cacao es una planta de bosque, y ha evolucionado para crecer bajo condiciones de sombra (Arévalo, 2011).

El cacao es uno de los cultivos alimenticios que desde el punto de vista tecnológico e industrial ha tenido un avance lento. Quizás una de las razones se debe a su carácter altamente minifundista y las características de incompatibilidad genética que lo caracterizan (Batista, 2009)

Tal como sucede con el resto de las cuencas de la provincia del Condorcanqui, en las cuencas de los ríos Marañón y Nieva el cultivo del cacao se remonta a varias décadas. Sin embargo, debido a las plagas, falta de productividad y reducido acceso al mercado, muchos productores abandonaron este cultivo. En los últimos años, se ha ido retomando el cultivo de cacao gracias al apoyo de los gobiernos locales, la agencia agraria regional y algunas ONG que intervienen en la zona. Este nuevo interés por el cacao se debe al éxito de su producción y venta en la región vecina de San Martín, donde se ha logrado posicionar el producto en mercados internacionales altamente rentables beneficiando a los productores locales (Pizarro, Euler y Michael, 2013).

Según la Agencia Agraria Condorcanqui (2014), la oficina de información agraria reportó que la provincia de Condorcanqui tiene 2,030.00 ha de área de cacao, con una producción de 1,275 t. El distrito de Nieva reportó un total de 820 ha de superficie de plantación de cacao con una producción total de 552.50 t con rendimientos de 800 a 850 Kg de cacao mejorado/año/ha y de 500 a 600 Kg de cacao criollo/año.

### **2.7.1. Clasificación Taxonómica**

El nombre botánico del cacao es *Theobroma cacao* L., el cual pertenece a la clase Dicotiledónea; Orden Malvales; Familia Sterculaceae. La característica principal de esta planta es la de ser cauliflora, es decir produce sus flores y frutos en el tallo y ramas; el nombre *Theobroma*, significa alimento de los dioses, que se le atribuye a las propiedades divinas que los indígenas consideraban en esta planta (Instituto de Cultivos Tropicales, 2004).

## **2.8. Modelación matemática**

Un modelo de simulación matemática, es una representación simplificada de un sistema real, que utilizan ecuaciones para representar las conexiones que existe dentro de este. Las relaciones de escala por las cuales los rangos entre los distintos aspectos del tamaño del árbol cambian según la dimensión del individuo dentro de una misma especie se conocen como relaciones alométricas (Hairiah et al., 2001).

También se definen como la medición y el estudio del crecimiento o parte de un individuo en relación a un organismo completo (Parresol, 1999). Las relaciones empíricas de biomasa, como ya ha sido mencionado, se basan en relaciones

alométricas. Éstas por lo general, constan de una forma polinomial y sus parámetros pueden ser derivados directamente de datos empíricos mediante un análisis de regresión (Hairiah et al., 2001).

La ecuación es de la forma:

$$Y = aXb$$

Las ecuaciones por lo general se utilizan en las siguientes formas:

Lineal (con error aditivo)  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \varepsilon$

No lineal (con error aditivo)  $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} + \varepsilon$

No lineal (multiplicativa)  $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} \varepsilon$

Dónde: Y = biomasa total o del componente, X<sub>j</sub> = variable de dimensión del árbol, β<sub>j</sub> = parámetro del modelo y ε = término de error.

El modelo lineal con error aditivo produce regresiones múltiples lineales que pueden ser ajustadas mediante el procedimiento de estimación de los mínimos cuadrados. El modelo no lineal con error aditivo produce ecuaciones de regresión no lineales que requieren el uso de procesos iterativos para la estimación de sus parámetros; para ambos modelos es necesario obtener la mínima varianza. Mientras que, para el tercer modelo, las ecuaciones usualmente son transformadas a su forma lineal a través de logaritmo natural y los parámetros así pueden ser estimados mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados (Parresol, 1999).

## 2.9. Definición y empleo de Taper

Taper, es el término aplicado al decrecimiento del diámetro a lo largo del fuste. Habiendo regularidad en el cambio del diámetro, el perfil del fuste puede ser expresado por funciones denominadas “Funciones de Taper”. A partir de una función o ecuación es posible estimar directamente el diámetro a cualquier altura del fuste. Por transformaciones algebraicas en la ecuación, se estima también el volumen total o volumen en cualquier sección del fuste, así como también la altura total o comercial hasta un diámetro definido (Campos & Leite, 2013).

A lo largo del tiempo, gracias a los avances en las técnicas biométricas e informáticas, se han desarrollado diversas ecuaciones para simular el perfil fustal de los árboles, desde las más simples de ahusamiento (Kozak et al, 1969; Ormerod, 1973; Hilt, 1980) hasta las polinomiales segmentadas (Bruce et al, 1968; Max &

Burkhart, 1976; Cao et al, 1980) y las geométricas y trigonométricas (Parresol & Tomas, 1996; Fang & Bailey, 1999; Bi, 2000; Zhang et al, 2002). No obstante que estas aportaciones han permitido una reducción considerable en costos de inventarios (Garcia, 2009).

#### **2.10. Relación altura versus diámetro**

Al emplear ecuaciones de volumen o de Taper, en áreas de población equiana, es necesario estimar la altura de los árboles por medio de ecuaciones específicas, definidas con base en datos disponibles y ajustados a partir de modelos usualmente denominados hipsométricos (Campos & Leite, 2013). La expresión de la altura del árbol en función de su DAP es de fundamental importancia en los procedimientos de inventario forestal, expresando correctamente esa relación a través de modelos de regresión, y se puede estimar, donde tal procedimiento implica reducción de costos de inventario (Soares, 2006).

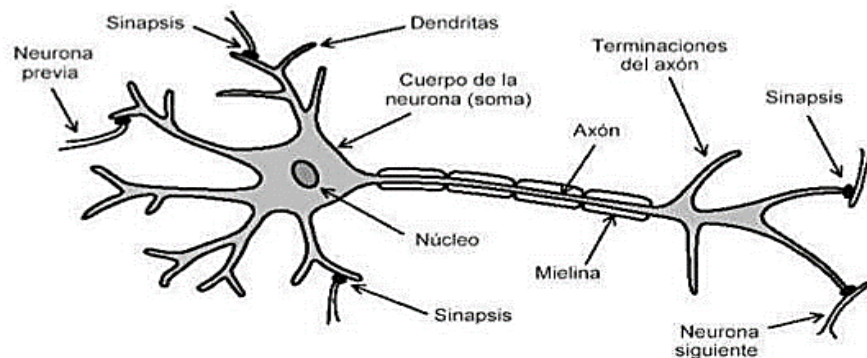
#### **2.11. Redes neuronales artificiales (RNA)**

El desenvolvimiento de la área de redes neuronales artificiales (RNA), es motivado por la manera de como el cerebro humano procesa informaciones, siendo capaz de organizar sus neuronas para determinados procesamientos, como reconocimiento de padrones, mucho más rápido y eficiente que una computadora convencional (Haykin, 2001).

La utilización de redes neuronales artificiales (RNA) se ha mostrado una alternativa prometedora en relación a las técnicas de regresión para el manejo de los recursos forestales. Diversos estudios y aplicaciones han sido desarrollados para su adaptación y parametrización para diversas situaciones como la estimación del volumen de árboles, del crecimiento y de la producción forestal entre otras aplicaciones. La utilización de esta herramienta ha demostrado un enorme potencial en el área forestal permitiendo el modelado matemático de diversas variables y fenómenos de difícil comprensión y estimación por métodos clásicos.

La neurona biológica puede ser dividido en tres partes: el cuerpo celular, las dendritas y el axón. Los dendritas son ramificaciones que reciben las informaciones en la forma de impulso nervioso, oriundas de otras neuronas y las conduce para el

cuerpo celular; este procesa las informaciones generando nuevos impulsos nerviosos que son transmitidos a través del axón a los dendritas de otras neuronas (Silva *et al*, 2010).



**Figura 1: Estructura de una neurona biológica.**

Según Bullinaria, (2014) se refiere:

“El RNA son redes de neuronas artificiales distribuido en paralelo (en capas) y conectadas entre sí de una manera específica para ejecutar una determinada tarea” (p.19).

Una RNA consigue detallar más y con mayor precisión la productividad media de grandes áreas de que un modelo tradicional; que permiten la utilización de un gran número de variables, entre ellos, edáfico, climático y fisiográfico, en una misma red, dando un alto interés para pronósticos de crecimiento y producción. Dependiendo del alcance de muestreo, este enfoque también permite simular el efecto de déficit hídrico o sequías (Alcântara, 2015).

“Desde el punto de vista práctico, una RNA es apenas un sistema computacional paralelo compuesto por muchos elementos de procesamiento simples ligados entre si de una manera específica, a fin de ejecutar una tarea” (Kosko, 1992, p.29).

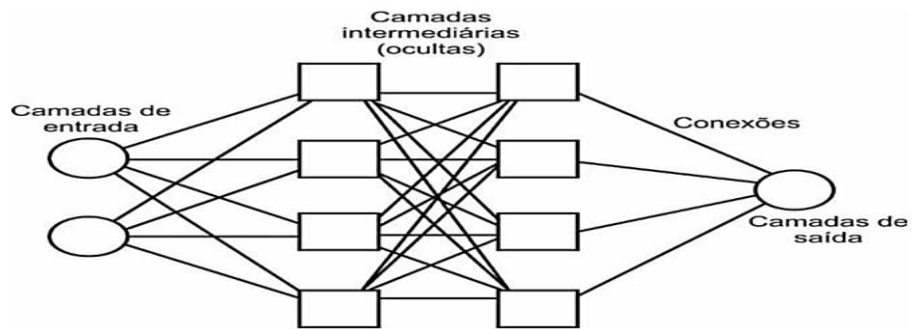


Figura 2: Estructura de una red neuronal artificial (Fuente: Binoti, 2010).

### 2.11.1. Función de activación de una red neuronal artificial

Conforme Haykin, (2001), la función de activación es una función matemática que aplicada a la combinación lineal entre las variables de entrada y los pesos que llegan a la neurona, retorna a la variable de salida. La función de activación limita las entradas a una amplitud finita, la cual generalmente ocurre dentro del intervalo de 0 a 1. Existen tres tipos básicos de función de activación: Función lineal (a), función lineal por partes (b) y función sigmoide (c).

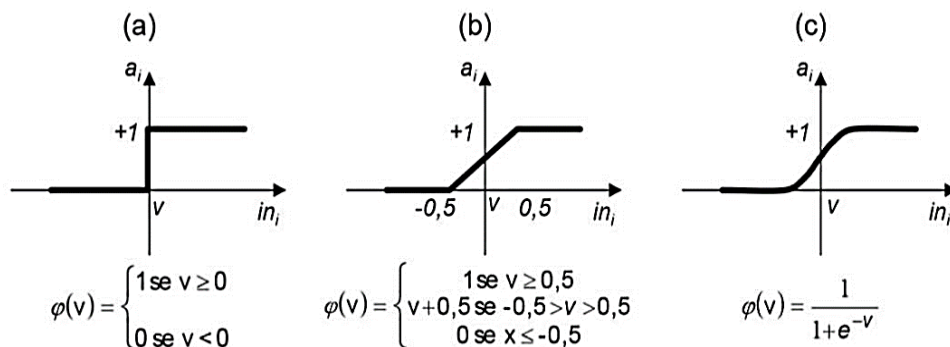
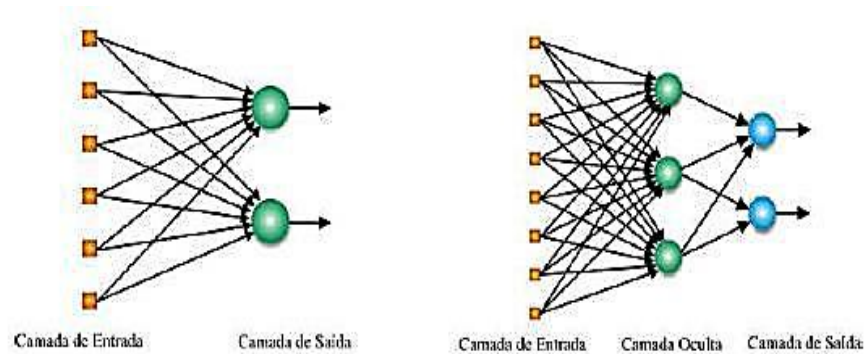


Figura 3: Principales funciones de activación en las redes neuronales artificiales (Fuente: Castro, 2011).

### 2.11.2. Clasificación de una red neuronal artificial

Las redes neuronales artificiales pueden ser clasificadas en cuanto al número de capas: redes de capas únicas (presentan una capa de neurona de procesamiento) y redes de múltiples capas (presentan una o más capas de neuronas intermediarias). En cuanto al tipo de conexiones: red de tipo feedforward (redes acíclicas) o feedback (cíclicas). En cuanto a la conectividad: red totalmente conectada (cada neurona de una capa está

conectado a todas las neuronas de la capa siguiente) y red parcialmente conectada (falta alguna conexión en la red) (Bullinaria, 2014).



**Figura 4: Conexiones de redes feedforward y feedback.**

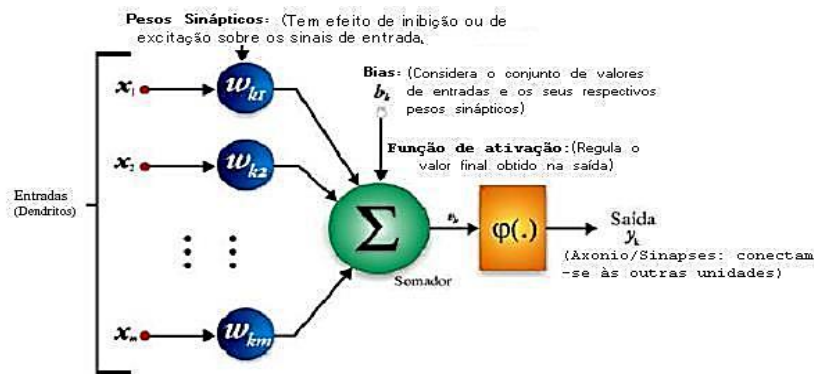
### 2.11.3. Algoritmo de las redes neuronales artificiales

Los principales modelos de RNA utilizados para fines de previsión de variables continuas son las redes MPL (Multiplayer Perceptron) (Haykin, 2001). Un Perceptron de multiples capas (MLP) posee una o más capas ocultas intermediarias, además de la capa de entrada y salida.

El entrenamiento es del tipo supervisado con el algoritmo de retropropagación del erro (ErroBackPropagation), con base en la regla de aprendizaje por corrección del error. Según Heaton, (2011), el algoritmo de retropropagación (ErroBackPropagation) es el algoritmo más usado en el aprendizaje en RNA de múltiples capas. En la actualidad existen otros algoritmos desenvueltos para la solución de problemas, uno de ellos es el algoritmo Resilient Propagation (RPROP), que efectúa la adaptación directa del peso, que presenta un mejor desempeño que el algoritmo de retropropagación, pues este necesita de un número menor de interacciones para corregir una solución de una determinada tasa de error.

### 2.11.4. Funcionalidad de las redes neuronales

En 1943, se expresa la primera neurona artificial matemáticamente propuesta por Warren McCulloch y por el matemático Walter Pitts:



**Figura 5: Processo de funcionalidade matemática de uma rede neuronal artificial.**

Según Silva, Spatti y Flauzino, (2010), el funcionamiento ocurre de la siguiente forma:

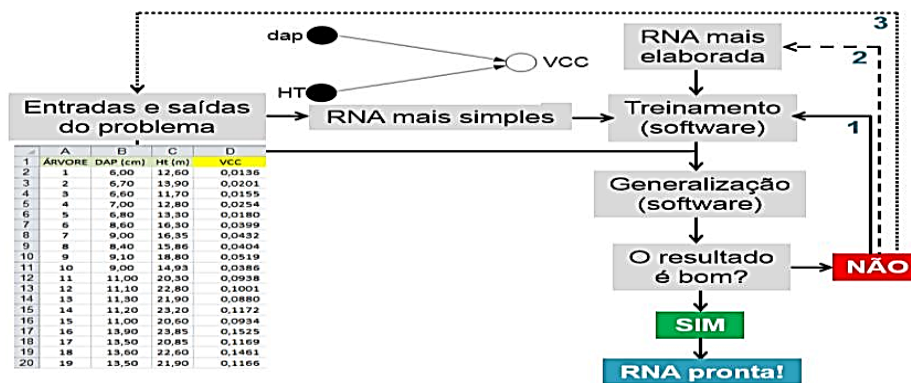
- La red recibe una señal ( $X_m$ ) que viene del medio externo y que presenta los valores asumidos por las variables de una aplicación específica.
- Cada una de las entradas ( $X_m$ ) de la neurona es ejecutada por medio de sus multiplicaciones por los respectivos pesos sinápticos ( $W_{km}$ ), permitiéndose cuantificar a sus relevancias en relación a la funcionalidad de la respectivo neurona.
- Todas las señales de entrada que fueron ponderados por los respectivos pesos sinápticos son agregados por la función aditiva de fin de producir un valor potencial de activación.
- El umbral de activación es una variable que específica cual será el aterrizaje apropiado para que el resultado producido por la función aditiva pueda generar un valor de disparo en dirección a la salida de la neurona.
- En seguida, es hecha la aplicación de una función de activación apropiada, teniéndose como objetivo limitar la salida de la neurona.
- Por último, ocurre la compilación de la salida a partir de la aplicación de la función de activación neuronal en relación a su potencial de activación.

Resumiendo matemáticamente, una red neuronal artificial  $K$  puede ser descrita en que:

$Y_k$  = salida de la neurona artificial;

$\Upsilon$  = función de activación;  $y$ ,

$\Theta_k$  = resultado de la función aditiva.



**Figura 6: Procedimiento general computarizado de la construcción de una red neuronal artificial.**

Las ventajas al utilizar RNA son:

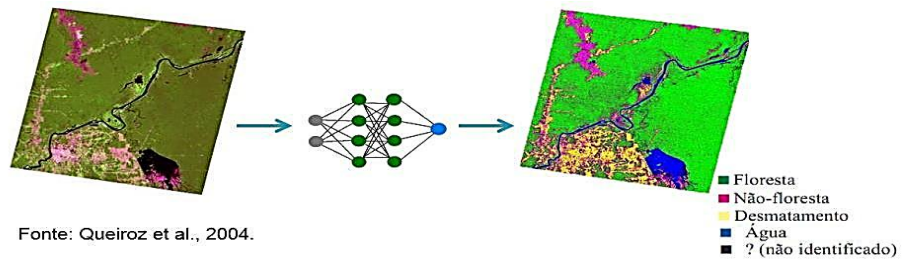
- Son dispositivos computacionales extremadamente poderosos, matemáticamente superior a las regresiones.
- Paralelismo masivo los envuelve muy eficiente.
- Pueden aprender y generalizar a partir de los datos de entrenamiento.
- Son altamente tolerantes a fallas.
- Son muy tolerantes a ruidos.
- En principio, ellas pueden hacer cualquier cosa que un sistema de lógica simbólica pueda hacer.

### 2.11.5. Aplicaciones generales de la RNA en la ingeniería forestal

Según Leite et al, (2010), las áreas aplicativas en las ciencias forestales y con resultados satisfactorios y comprobados son las siguientes:

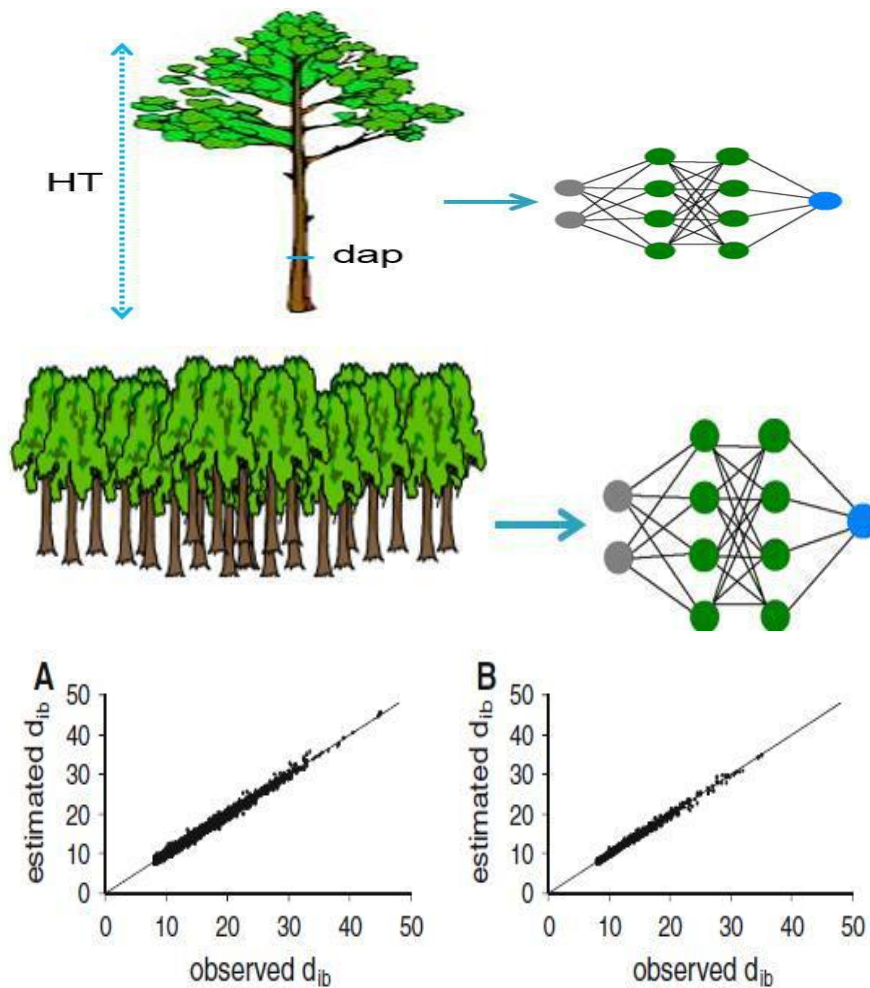
- Cubicación (volumen).
- Modelos de Taper.
- Modelos hipsométricos.
- Distribución diamétrica.
- Modelos de crecimiento y producción en nivel de población.
- Modelos a nivel de árboles individuales.
- Reducción de costos.
- Previsión de precios.

(Queiroz et al, 2004), en el área de Sistemas de Información Geográfica, designa un padrón de entrada representado por un vector de características para una entre varias clases pre-definidas.



**Figura 7: Aplicación de redes neuronales artificiales en los sistemas de información geográfica.**

(Görgens, 2006; Silva et al, 2009); aplica las redes neuronales en las estimación de volúmenes en árboles individuales y Binoti, (2010) en las estimación de volumen de una población forestal.



**Figura 8: Aplicación de redes neuronales artificiales en las estimaciones de volumen.**

### **2.11.6. Neuroforest**

La Sociedad de Investigación Forestal (SIF, 2012), menciona que fue programado por el Ingeniero Daniel Binoti y ya contiene algunos de los sistemas desarrollados por el mismo, en asociación con Profesores Mayra LS Binoti y Helio Garcia Leite. NeuroForest fue creado con difundir el conocimiento sobre este tema, medición y manejo de bosques, a través de la difusión del software libre., siendo el foco de la iniciativa que son empleados por profesores, estudiantes, ingenieros forestales, empresas y productores forestales en general.

NeuroForest fue desarrollado para la aplicación de redes neuronales artificiales en diferentes tipos de problemas. Contiene un conjunto completo de métodos para la construcción y simulación de redes neuronales con dispositivos de solución de problemas inteligentes, permitiendo la total libertad para la selección de cientos de tipologías, dependiendo del tipo de problema y demanda del usuario. Este sistema surge en un momento importante, ya que resultados extraordinarios de uso de redes neuronales en la ciencia forestal vienen siendo obtenidos por el equipo, en Viçosa-MG desde hace algunos años.

Contiene una amplia variedad de opciones para simular redes neuronales artificiales como dispositivos de solución de problemas, permitiendo la total libertad para la selección de cientos de tipogramas dependiendo del tipo de problema y demanda del usuario. Además, el NeuroForest ya está siendo utilizado en una escala operativa en más de 500 mil hectáreas de bosques plantados y generó una reducción de costes de aproximadamente 25% para la actividad de recolección de datos parcelas de inventario forestal.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

Se realizó en diez parcelas agroforestales del Centro Poblado Jose Olaya, distrito de Nieva, Provincia de Condorcanqui, Región de Amazonas de acuerdo a Smith (1955). Las parcelas presentan codificación como PA01, PA02, PA03, PA04, PA05, PA06, PA07, PA08, PA09, PA10 y se encuentran a una altitud entre 171 a 255 msnm.



Figura 9: Mapa de ubicación de Jose Olaya.

### **3.2. Materiales y equipo.**

#### **3.2.1. Materiales de campo.**

Libreta de campo, lápiz, lapiceros, marcadores no permanentes, Cinta Métrica de 30m y 2m.

#### **3.2.2. Equipos.**

Receptor GPS, Cámara Fotográfica Semiprofesional, Barreno de Pressler, Forcípula metálica calibrada, Nivel de Abney, balanza de 10 gramos.

#### **3.2.3. Materiales Biológicos.**

Muestras internas fustales de 0.05 cm x 30 cm de la especie de *Theobroma cacao* L.

#### **3.2.4. Materiales Informáticos.**

*Software:* Microsoft office 2013, ArcGis 10.4.1, Statistica 13 y Neuroforest® (versión 3.3).

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Trabajo de campo**

##### **a) Delimitación de área de estudio**

La primera actividad fue delimitar el Área de ejecución del proyecto en las plantaciones de Cacao del distrito de Nieva, provincia de Condorcanqui, región de Amazonas. Posteriormente se georreferenciaron las áreas de intervención con receptores de GPS, precisando las coordenadas UTM con Datum Horizontal WGS 84, que fueron procesados con el software ArcGis 10.4.1.

Las Áreas de intervención de estudio nos proporcionó la cooperativa CAPROAC-CONDORCANQUI-AMAZONAS.

**Tabla 1: Parcelas de intervención de estudio**

PARCELAS AGRICOLAS DEL SECTOR DE JOSE OLAYA- NIEVA										
N° ORD.	NOMBRE DEL AGRICULTOR	DNI	NOMBRE DE PARCELA	UBICACIÓN				AREA- HAS.	CULTIVOS SEMBRADOS	COLINDANTES
				SECTOR	DISTRITO	PROVINCIA	REGION			
01	FELIPE GUERRERO CHVEZ	33767789	LA CAPIRONA	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	10.95	CACAO= 4.5 PASTO OLIVA=5.5	NORTE: CON SARA CHAVEZ TORRES SUR: CON ISAIAS GUERRERO CHAVEZ ESTE: CON NERIO HERNAN BECERRA SOTO OESTE: CON RIO NIEVA
02	FELIX TERRONES HERRERA	33770134	EL LIMON	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	1.00	CACAO= 1.00	NORTE: MARIA BERENI TERRONES GONZALES SUR: PEDRO REGALADO TENORIO RAMOS ESTE: ELMER VALLEJOS VALVERDE OESTE: NERIO HERNAN BECERRA SOTO
03	MARIA CONSUELO TERRONES GONZALES	44710521	LA NARANJA	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	2.40	CACAO=1.00 PASTO OLIVA=1.4	NORTE: MANUEL HUAMAN BECERRA SUR: ELMER VALLEJOS VALVERDE ESTE: PRESILA TERRONES GONZALES OESTE: SEGUNDO FELIX TERRONES VERGARA
04	BENICIO TERRONES GONZALES	33594557	LA CAPIRONA	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	2.40	CACAO= 1.5 PASTO LIVA=0.90	NORTE= SAMUEL HUAMAN BECERRA SUR: ELMER VALLEJOS VALVERDE ESTE: ELMER VALLEJOS VALVERDE OESTE: PRESILA TERRONES GONZALES
05	MARIA BERENI TERRONES GONZALES	40572560	EL LAGARTO	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	2.60	CACAO= 1.00 PASTO OLIVA=1.6	NORTE: MOISES MENDOZA QUISPE SUR : FELIX TERRONES HERRERA ESTE: SEGUNDO FELIX TERRONES VERGARA OESTE: PRESILA TERRONES GONZALES
06	ISAIAS GUERRERO CHAVEZ	33765062	MI FORTUNA	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	2.50	CACAO= 2.50	NORTE= LIIA MARLENY HUAMAN MELCHOR SUR= MIGUEL CORDOVA VASQUEZ ESTE: VICTOR HUGO MENDOZA MALCA OESTE= MIGUEL CORDOVA VASQUEZ
07	MAURA CHINCHAY HUAMAN	33767436	LOS COCOS	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	13.00	CACAO=1.5 PASTO OLIVA=1.5 YUCA= 1.00	NORTE: NORMA ALARCON LLANOS SUR= CARRETERA JUAN VELASCO- BAGUA ESTE: CAMINO DE HERRADURA OESTE: OSCAR TENORIO GABRIEL
08	ELSA BLANCA OLEACHEA VELASQUEZ	33760907	EL PIJUAYAL	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	5.00	CACAO=0.50 YUCA= 1.00	NORTE: RAUL B. OLEACHEA VELASQUEZ SUR: RIO NIEVA ESTE: RAUL B. OLEACHEA VELASQUEZ OESTE: RAUL B. OLEACHEA VELASQUEZ
09	RAUL BNJAMIN OLEACHEA VELASQUEZ	33761217	EL GUAYAQUIL	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	10.00	CACAO=1.00 PLATANO=0.50 YUCA= 0.25	NORTE: QUEBRADA CHIANGOS SUR= ELSA BLANCA OLEACHEA VELASQUEZ ESTE: AMILCAR OLEACHEA VELASQUEZ OESTE= QUEBRADA CHIANGOS
10	SEGUNDO FELIX TERRONES VERGARA	40376541	EL GRAMALOTE	JOSE OLAYA	NIEVA	CONDORCANQUI	AMAZONAS	2.40	CACAO=0.50 PASTO OLIVA=1.9	NORTE= SAMUEL HUAMAN BECERRA SUR= ELMER VALLEJOS VALVERDE ESTE= MARIA CONSUELO TERRONES GONZALES OESTE= MARIA BERENI TERRONES GONZALES

FUENTE: DATOS BRINDADOS POR LA COOPERATIVA CAPROAC – CONDORCANQUI-AMAZONAS.

## **b) Herramientas para el procesamiento de datos**

Los datos obtenidos en campo posteriormente fueron procesados; los datos del receptor GPS se descargaron en el Software Map Source y guardados en formato dxf., en una plantilla de ArcGis 10.4.1 el archivo fue añadido y se creó un archivo en formato editable por el programa, en este caso archivo shape (shp.) el cual, está proyectado a un sistema de coordenadas (Para el estudio el sistema utilizado será UTM, WGS 1984 Zona 18S), luego se realizó la vectorización del polígono a través de la edición del archivo shape siguiendo los puntos (points) y caminos (tracks) tomados durante la fase de campo. Posteriormente con la aplicación de la extensión XTools Pro de ArcGis 10.4.1 se hicieron los cálculos geométricos como área en hectáreas y perímetro en kilómetros.

## **c) Muestreo y extracción de cuerpos de prueba**

Para el ajuste de las ecuaciones de regresión lineal se aplicó un muestro al azar simple (MAS) considerando 10 parcelas de una ha y 10 árboles (muestra) aleatorios por parcela de acuerdo a Smith (1955).

La extracción de cuerpos de prueba se aplicó por debajo del diámetro a la altura del pecho (DAP) con auxilio del taladro de incremento (Barreno de Pressler) donde inmediatamente se midió su largura. (Manzo y Hernández, 2016). Se extrajo un cuerpo de prueba por árbol conllevando a extraer 100 cuerpos de pruebas en todas las parcelas de evaluación, es decir 10 cuerpos de prueba por parcela, considerando que las plantaciones de las 10 parcelas tienen la misma edad.

Los cuerpos de prueba fueron codificados, secados al aire libre y secados en estufa a  $\pm 35^{\circ}\text{C}$  hasta mantener peso constante en un tiempo indeterminado hasta que su peso sea constante para su posterior análisis. El uso del taladro ocasiono un hueco en el fuste, que fue cubierto con parafina para evitar la introducción de insectos y enfermedades patológicas.

Las Variables consideradas son: diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a cualquier altura por encima del DAP (d), altura total (H), altura donde el diámetro “d” es considerado (h), área total de la parcela (AT), altitud (A).

### 3.3.2. Trabajo de laboratorio

#### a) Determinación de la densidad aparente

Los cuerpos de prueba extraídos del fuste se secaron al aire libre y a la estufa a una temperatura promedio hasta conseguir un peso constante y utilizando la siguiente expresión, se pudo calcular la densidad aparente:

$$Da = \frac{Ws}{V}$$

Donde:

Da = Densidad aparente, en g/cm<sup>3</sup>.

Ws = Peso seco de la madera, en g.

V = Volumen del cuerpo de prueba.

### 3.3.3. Trabajo de gabinete

#### a) Ordenamiento y procesamiento de datos

Los datos colectados en campo, se insertaron en una planilla digital creada en Microsoft Excel, donde se acumularon y manipularon los elementos de datos para producir información significativa, generando capacidades de manejo correcto, informativo y distributivo.

#### b) Modelo función Taper

Se aplicó el Modelo de Taper más difundido y usual en la representación del perfil del fuste, que es el modelo lineal polinomial de Kozak, Munro y Smith, (1969), por su facilidad de ajustamiento y de la precisión de sus estimativas (Campos y Leite, 2013).

Por definición el Modelo es representado de la siguiente manera:

$$Y^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

$$d = dap * \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2}$$

$$h = \frac{-\beta_1 H \pm \sqrt{(\beta_1 H)^2 - 4\beta_2(\beta_0 H^2 - \frac{d^2 H^2}{dap^2})}}{2\beta_2}$$

$$V = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[ \beta_0 (h_2 - h_1) + \frac{\beta_1}{2H} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{\beta_2}{3H^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$$

En que:

Y= (d/dap)

d= diámetro en la altura h;

dap= diámetro, medido en la altura de 1,30m;

h=distancia del suelo hasta el punto donde el diámetro d es considerado;

h1 y h2=límites de integración correspondiendo a las alturas inferior y superior de cualquier sección, considerando h1=0,3m.

H= altura total;

βi= parámetro de regresión (i=0, 1, 2); y

ε=error aleatorio, considerado igual a 0.

#### c) Cálculo del volumen del cuerpo de prueba

El cálculo del Volumen de los cuerpos de prueba obtendrá con la siguiente expresión:

$$V = 3,1416 * r^2 * L$$

Donde:

V = Volumen del cuerpo de prueba, en cm<sup>3</sup>.

r = Radio de la base del cuerpo de prueba, equilibrado a 0.025 cm.

L = Largura del cuerpo de prueba.

#### d) Cálculo y estimación poblacional de la biomasa

La Biomasa del fuste del árbol, es obtenida por la siguiente expresión (Vital, 1985):

$$B = V * Da$$

Donde:

B = Biomasa del fuste del árbol, en Kg.

V = Volumen del fuste del árbol, en m<sup>3</sup>.

Da = Densidad aparente del cuerpo de prueba, en g/cm<sup>3</sup>.

Se estimó la biomasa de la población evaluada por la siguiente expresión (Herrera, 1989).

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht + \varepsilon$$

Donde:

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = Parámetros de estimación

Y = Biomasa del fuste del árbol, en Kg.

DAP = Diámetro a la altura del pecho, en cm.

Ht = Altura total, en m.

#### e) Cuantificación de captura de Carbono

Se estimó con la siguiente expresión descrita por Campos y Leite, (2013):

$$Wc = Wf * k$$

Donde:

Wc = Peso de Carbono en el fuste, en Kg.

Wf = Peso del fuste por determinada área, en Kg

K = Factor constante a 0.5.

#### f) Redes neuronales artificiales

Se procedió a entrenar y validar datos entrenados para las redes neuronales artificiales. Para ello los datos fueron organizados por medición combinándose entre ellos. Las variables independientes a utilizar son el diámetro y la altura, y como variable dependiente tenemos a la Biomasa. El software utilizado será Neuroforest® (versión 3.3), donde fueron entrenadas redes neuronales artificiales para estimación actual de volumen por área. La configuración de la RNA utilizo una arquitectura de red del tipo Multilayer Perceptron (MLP), totalizando tres capas (capa de entrada con variable continua y categórica; capa de procesamiento u oculta y capa de salida).

La capa oculta, arquitectura de las redes, varía de acuerdo al número de variables, para este estudio son utilizadas neuronas de acuerdo a las variables

y a la función de activación para las capas ocultas y de salida es sigmoide. El algoritmo de entrenamiento empleado es Resilient propagation (RPROP+). El límite de parada es de 0.0001 para el error medio y 3.000 para el número de ciclos y los datos, englobando todas las mediciones disponibles.

Los datos están divididos en dos partes, uno para el entrenamiento de las redes y el otro para evaluar la generalización de las redes entrenadas con una proporción de 70% para entrenamiento y 30 % para validar datos (Binoti, 2010).

Las técnicas de inteligencia artificial de redes neuronales artificiales fueron capacitadas y ampliadas en la Universidade Federal de Viçosa, MG.

**g) Análisis estadístico**

Las modelaciones matemáticas fueron ajustadas por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y su efectividad del modelo de programación lineal se estableció con el análisis del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), con ayuda del Software Statistica 13.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Dónde:

$\hat{Y}_m$  = Es promedio de las estimaciones de Y.

$\bar{Y}$  = Es media aritmética de Y

$n$  = es el número de observaciones.

Las estimativas de las redes neuronales artificiales fueron evaluadas a través por la correlación entre volumen estimado y observado ( $R^{\hat{Y}Y}$ ), por sesgo (BIAS), por la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RQEM) y por la media de las diferencias absolutas (MDA). Para ambos se analizarán la gráfica de residuos y frecuencia.

- $$R^{\hat{Y}Y} = \frac{n^{-1} (\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y}_m)(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{(n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y}_m)^2) (n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)}} ; \hat{Y}_m = n^{-1} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i$$

$\hat{Y}_m$  = Es promedio de las estimaciones de Y.

$\bar{Y}$  = Es media aritmética de Y

$n$  = es el número de observaciones.

- Sesgo (Bias) =  $n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$
- RQEM =  $100\bar{Y}^{-1} \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}$
- MDA =  $(n^{-1} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|)$

En que:  $Y_i$ ,  $\hat{Y}_i$  y  $\bar{Y}$  son, respectivamente, valor observado, valor estimado por el modelo y el promedio de los valores observados.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Densidad de la madera

La densidad media de *Theobroma cacao* L en las parcelas se pueden apreciar en la tabla 2, donde la mayor densidad media se encuentra en la parcela PA10 con 0.363 g/cm<sup>3</sup>, seguido por la parcela PA07 con 0.331 g/cm<sup>3</sup>, posteriormente por las parcela PA05 Y PA09 con 0.329 g/cm<sup>3</sup>, seguido la parcela PA03 Y PA04 con 0.319 g/cm<sup>3</sup>, la parcela PA08 con 0.315 g/cm<sup>3</sup>, seguido la parcela PA01 con 0.312 g/cm<sup>3</sup>, seguido la parcela PA06 con 0.309 g/cm<sup>3</sup> y finalmente la parcela PA02 con 0.296 g/cm<sup>3</sup> respectivamente y las variables individuales (peso, largura, diámetro, volumen y densidad) de cada cuerpo de prueba extraída de los árboles se pueden apreciar en el Anexo 1.

**Tabla 2: Densidad media, biomasa fustal y edad del *Theobroma cacao* L.**

PARCELA	EDAD (AÑOS)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
PA01	10	0.312
PA02	10	0.296
PA03	10	0.319
PA04	10	0.319
PA05	10	0.329
PA06	10	0.309
PA07	10	0.331
PA08	10	0.315
PA09	10	0.329
PA10	10	0.363

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

#### 4.2. Volumen en pie de los árboles

El volumen en pie calculado en las diferentes parcelas de cacao se pueden apreciar en la tabla 3, donde la parcela con código PA08 presenta mayor cantidad volumétrica con 0.135 m<sup>3</sup> y la parcela con código PA07 presenta menor cantidad volumétrica con 0.024 m<sup>3</sup>, obteniendo un total de volumen en pie en todas las parcelas 0.999 m<sup>3</sup> con 100 árboles inventariados.

**Tabla 3: Volumen en pie de los árboles.**

PARCELA	Nº DE ÁRBOLES	VOLUMEN EN PIE (m <sup>3</sup> )
PA01	10	0.126
PA02	10	0.064
PA03	10	0.082
PA04	10	0.103
PA05	10	0.111
PA06	10	0.114
PA07	10	0.024
PA08	10	0.135
PA09	10	0.115
PA10	10	0.125
SUMA	100	0.999

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

#### 4.3. Biomasa y captura de Carbono del fuste de los árboles

En la tabla 4, se aprecia la biomasa y la Captura de Carbono observada y estimada, donde la parcela observada con código PA10 presenta mayor Captura de Carbono con 22.700 Kg de C y la parcela con código PA07 presenta menor Captura de Carbono con 4.088 Kg de C. Todas las parcelas evaluadas presentan una Captura de Carbono de 161.915 Kg de C.

La parcela estimada de modelamiento con código PA10 presenta mayor Captura de Carbono con 22.700 Kg de C y la parcela con código PA07 presenta menor Captura de Carbono con 4.088 Kg de C. Todas las parcelas evaluadas estimadas presentan una Captura de Carbono de 155.476 Kg de C. La proyección de Captura de Carbono con la técnica de sistemas computaciones de redes neuronales artificiales utilizando las variables de área (m<sup>2</sup>), Densidad (g/cm<sup>3</sup>), cantidad de árboles inventariados, Dap, HT,

Carbono, Volumen (m<sup>3</sup>), Biomasa (Kg) por cada parcela de evaluación, obteniendo como resultado que la parcela PA10 presenta mayor cantidad de Captura de Carbono con 23.125 Kg de C y la parcela PA07 menor cantidad de Captura de Carbono con 4.337 Kg de C. Todas las parcelas evaluadas presentan una Captura de Carbono con RNA de 162.067 Kg de C.

**Tabla 4: la Biomasa y la Captura de Carbono Observada y Estimada.**

PARCELA	ÁREA (m2)	BIOMASA (Kg)	CAPTURA DE C OBSERVADO (KgC)	CAPTURA DE C ESTIMADO CON MODELAMIENTO (KgC)	CAPTURA DE C ESTIMADO CON RNA (KgC)
PA01	10000	39.227	19.614	20.881	19.688
PA02	10000	19.680	9.840	13.965	9.994
PA03	10000	26.148	13.074	10.999	13.163
PA04	10000	33.384	16.692	14.510	16.728
PA05	10000	36.172	18.086	21.647	18.022
PA06	10000	35.530	17.765	17.116	16.877
PA07	10000	8.176	4.088	4.299	4.337
PA08	10000	42.902	21.451	18.769	21.352
PA09	10000	37.210	18.605	14.178	18.780
PA10	10000	45.400	22.700	19.111	23.125
<b>SUMA</b>	<b>100000</b>	<b>323.829</b>	<b>161.915</b>	<b>155.476</b>	<b>162.067</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

#### 4.4. Resultado estadístico

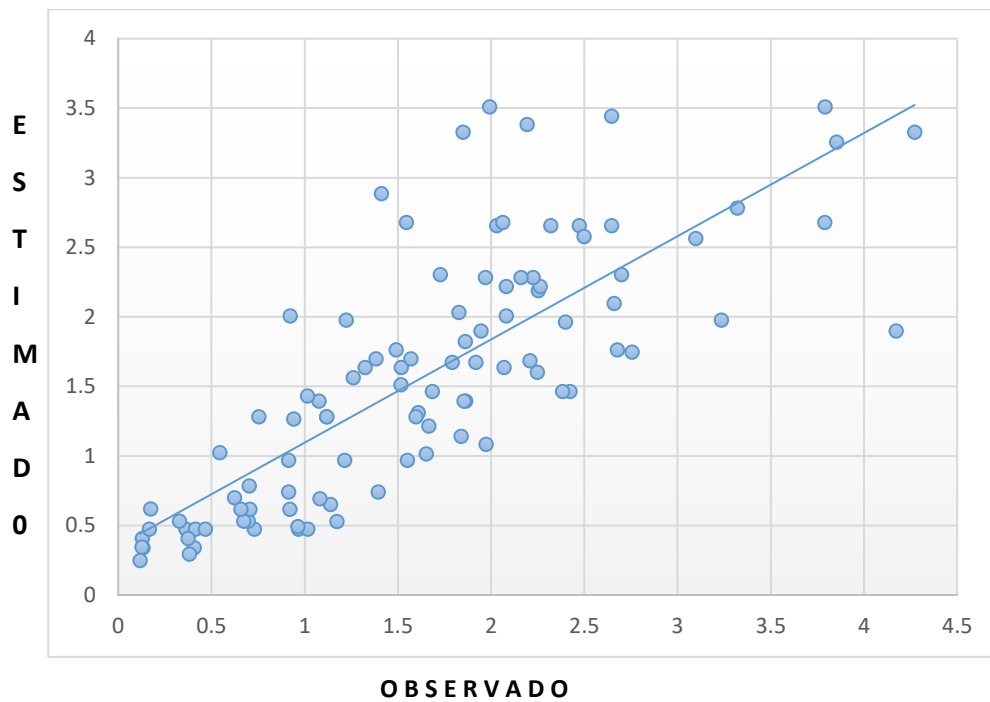
Los datos analizados entre la Captura de Carbono observado y estimado con modelamiento presenta una baja correlación con  $R^2 = 0.7838$ ; es decir que las variables no están relacionadas entre sí y que implica casualidad de la estimación de los datos, por lo tanto, existe una baja confiabilidad en los datos estimados. Los resultados estadísticos con modelamiento se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5: Resultados estadísticos con modelamiento.**

SESGO	RQEM	MDA	CORRELACIÓN
<b>0.0644</b>	36.7470	0.4398	0.7838

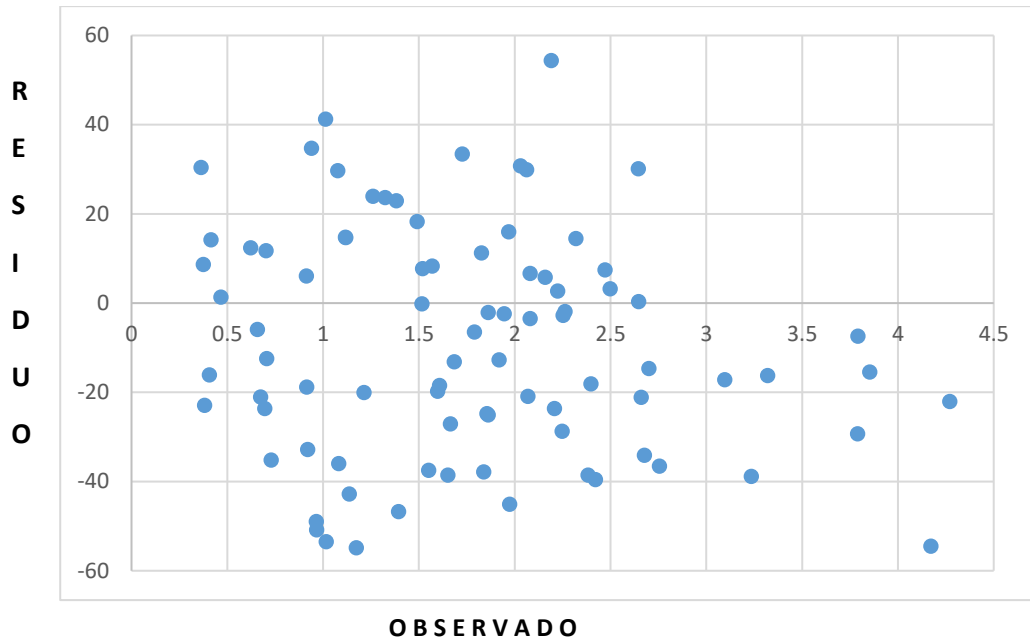
Cuando la correlación se acerca más a 1 y el Sesgo se acerca más a 0 tienen una mejor confiabilidad, el RQEM y el MDA mientras es menor, es más confiable.

En el **gráfico 1** se aprecia la correlación de la Captura de Carbono observado y estimado con modelamiento, donde se observa que los datos no están cercanos a línea de tendencia, mostrando su baja confiabilidad de los datos estimados.



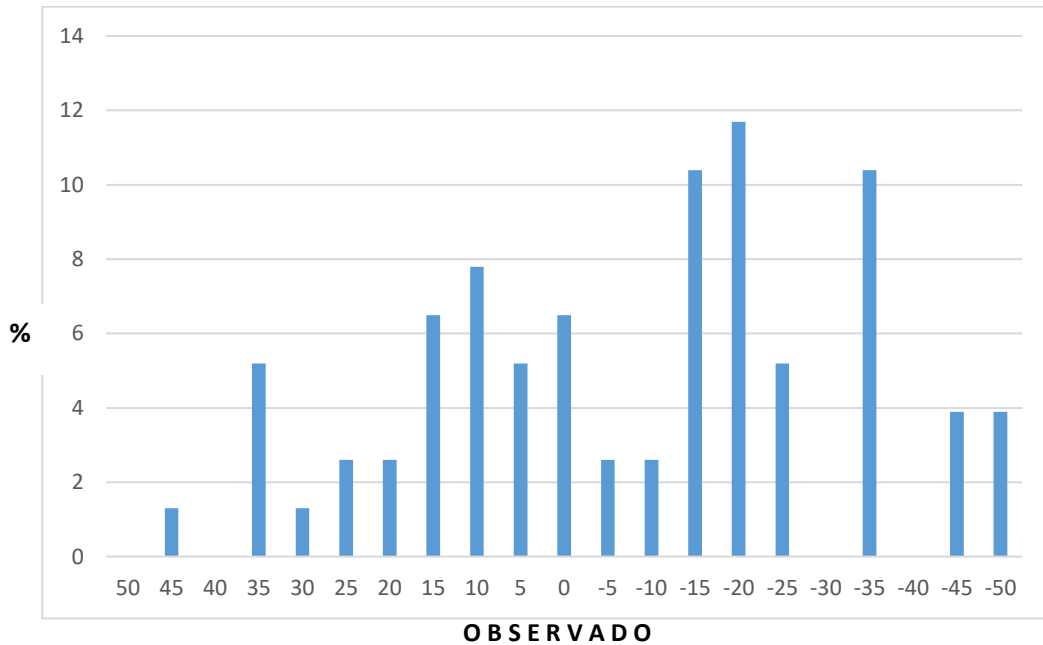
**Figura 10. Correlación de la Captura de Carbono observado y estimado con modelamiento.**

En el **gráfico 2** se aprecia el residuo (%) de la Captura de Carbono observado con modelamiento, donde se observa que los datos no están cercanos a línea de tendencia, mostrando su baja confiabilidad de los datos estimados.



**Figura 11. Residuo (%) de la Captura de Carbono observado con modelamiento.**

En el **gráfico 3** se aprecia la frecuencia (%) relacionadas con las clases, donde se observa que los datos son mayores a 0, mostrando su baja confiabilidad de los datos estimados.



**Figura 12. frecuencia (%) relacionadas con las clases con modelamiento.**

Los datos mayores presentan un 20% de error sub estimado, y va hasta un error de 50 % sub estimado.

La parcela estimada de modelamiento con código PA10 presenta mayor Captura de Carbono con 22.700 Kg de C y la parcela con código PA07 presenta menor Captura de Carbono con 4.088 Kg de C. Todas las parcelas evaluadas estimadas presentan una Captura de Carbono de 155.476 Kg de C en 100 árboles.

Los datos analizados entre la Captura de Carbono observado y estimado con redes neuronales artificiales presenta una alta correlación con  $R^2 = 0.9859$ ; es decir que las variables están relacionadas entre sí y que no implica casualidad de la estimación de los datos, por lo tanto, existe confiabilidad en los datos estimados. Los resultados estadísticos con redes neuronales artificiales se presentan en la siguiente tabla.

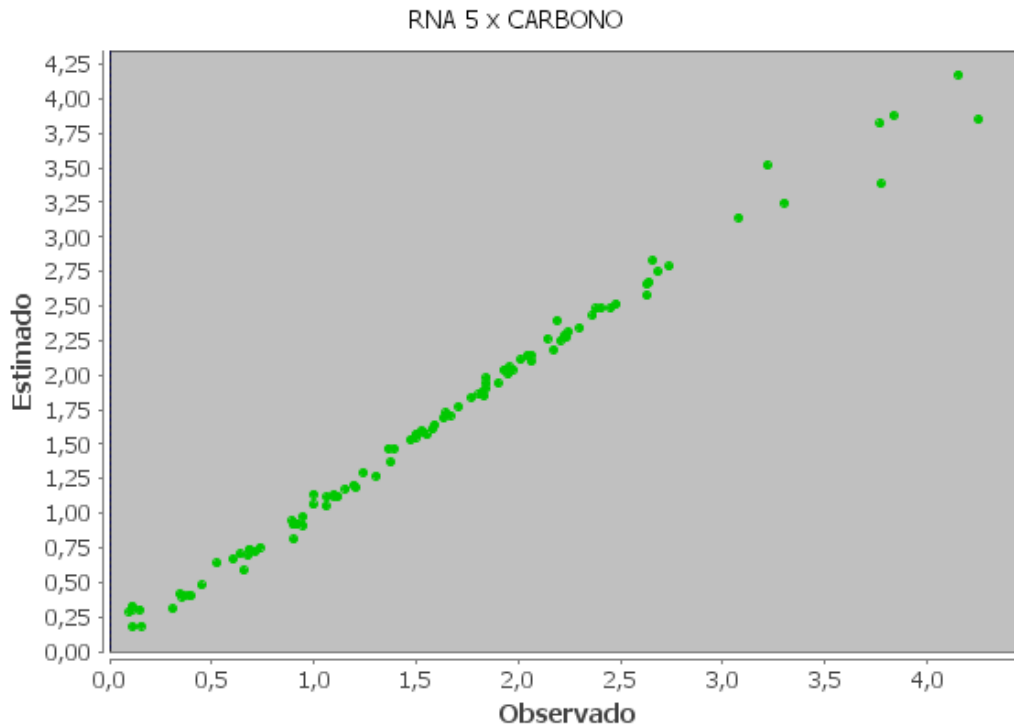
**Tabla 6: Resultados estadísticos con RNA.**

<b>SESGO</b>	<b>RQEM</b>	<b>MDA</b>	<b>CORRELACIÓN</b>
<b>-0.0015</b>	5.3238	0.0485	0.9859

Cuando la correlación se acerca más a 1 y cuando el Sesgo se acerca más a 0 tienen una mejor confiabilidad.

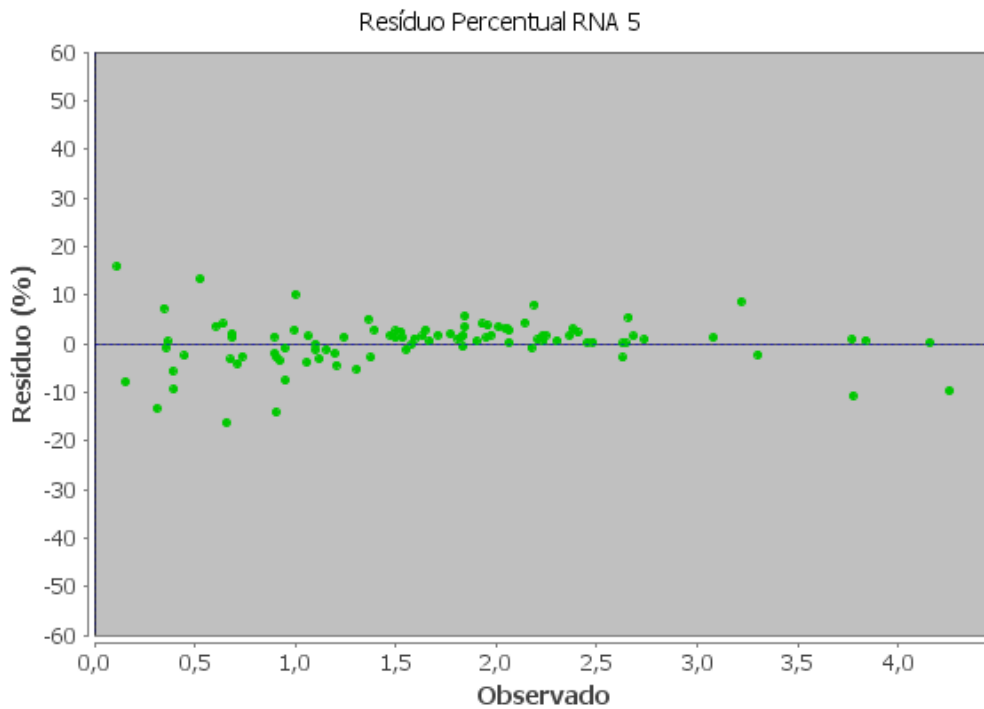
EL RNA al comparar con la regresión de modelamiento, su correlación se acerca más a 1, y su sesgo más a 0, y el RQEM y MDA son más menores presentando así mejor confiabilidad.

En el **gráfico 4** se aprecia la correlación de la Captura de Carbono observado y estimado, donde se observa que los datos están cercanos a línea de tendencia, confirmando la confiabilidad de los datos estimados.



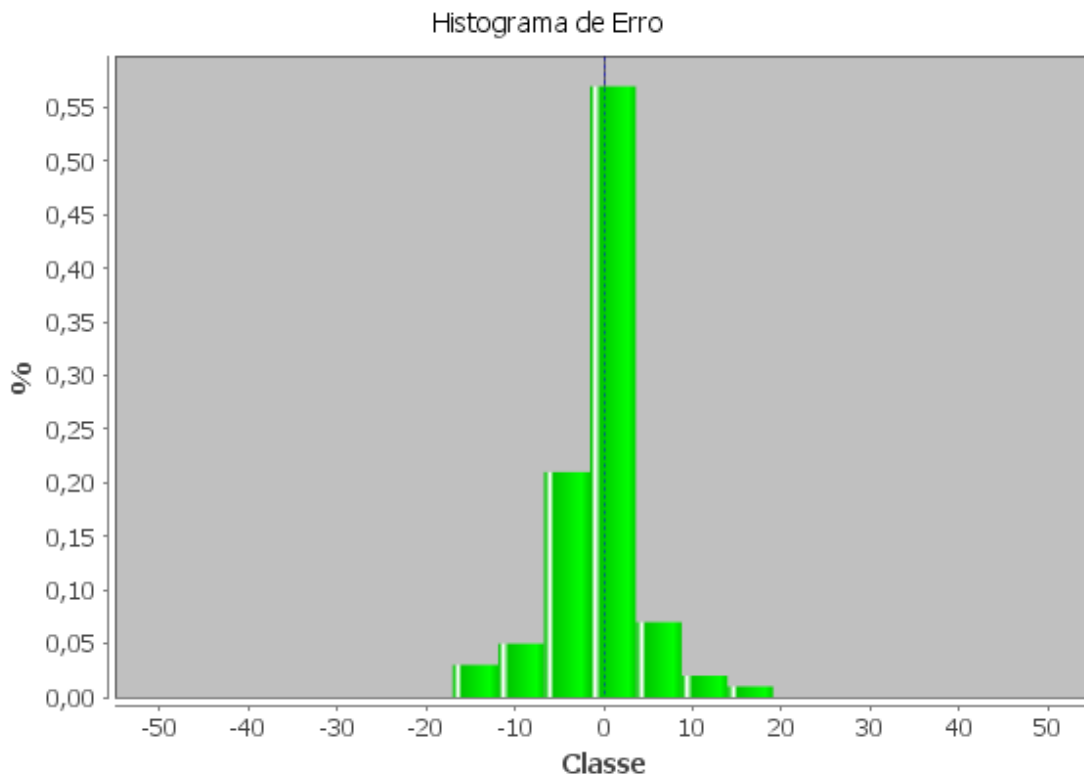
**Figura 13. Correlación de la Captura de Carbono Observado y Estimado con RNA.**

En la **gráfica 5** se aprecia el residuo (%) de la Captura de Carbono observado con Redes neuronales artificiales, donde se observa que los datos están cercanos a línea de tendencia, mostrando su alta confiabilidad de los datos estimados.



**Figura 14. residuo (%) de la Captura de Carbono observado con RNA.**

En la **gráfica 6** se aprecia la frecuencia (%) relacionadas con las clases, donde se observa que los datos son mayores en 0, mostrando su alta confiabilidad de los datos estimados.



**Figura 15.frecuencia (%) relacionadas con las clases con RNA.**

La mayor cantidad de datos presenta una clase de error a 0%.

La parcela estimada con la técnica de sistemas computaciones de redes neuronales artificiales obteniendo como resultado que la parcela PA10 presenta mayor cantidad de Captura de Carbono con 23.125 Kg de C y la parcela PA07 menor cantidad de captura de carbono con 4.337 Kg de C. Todas las parcelas evaluadas presentan una Captura de Carbono con RNA de 162.067 Kg de C en 100 árboles. Esta discordancia se debe a distintos factores como son la densidad y la distribución de los arboles dentro de la parcela como también puede existir una influencia de factores climáticos como la temperatura, precipitación; como menciona Varela (2013) en una investigación sobre la determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de C en sistemas de *Theobroma cacao*, donde determina que los factores

climáticos que mayor influencia tuvieron en la Captura de Carbono fueron la Precipitación y la Temperatura.

Un estudio realizado por Ortíz y Somarriba (2008), donde estimó el almacenamiento y fijación de Carbono en sistemas agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*), determinó que las parcelas de sistemas agroforestales con cacao y laurel a una edad de 25 años, en Changuinola, Panamá, almacenaron entre 43 t de C y 62 t de C ha, de igual manera, Aristizabal y Guerra (2002), realizó una investigación de Captura de Carbono en Bogotá, Colombia donde estimó la tasa de fijación de Carbono en sistemas agroforestales de Nogal cafetero (*Cordia alliodora*), Cacao (*Theobroma cacao L.*) y Plátano (*Musa paradisiaca*) donde determinó que la tasa de fijación de Carbono para estos sistemas en este lugar es de 4.30 t Co<sub>2</sub>/Ha/año, sin embargo; en el presente trabajo de investigación realizado en parcelas de *Theobroma Cacao L* del Centro Poblado José Olaya, distrito de Nieva, provincia de Condorcanqui, Región de Amazonas se determinó que el fuste del *Theobroma Cacao L* Captura Carbono observado esta entre 4.088 Kg de C y 22.700 Kg de C, la Captura Carbono con modelamiento esta entre 4.299 Kg de C y 21.647 Kg de C y la Captura Carbono con RNA esta entre 4.337 Kg de C y 23.125 Kg de C.

Investigación realizada por Ortíz y Riascos (2006), donde determinó el almacenamiento y captura de C en sistemas agroforestales de Laurel (*Cordia alliodora*) y Cacao (*Theobroma cacao L.*), utilizó el método destructivo para estimar la cantidad de Carbono y observó que la captura de este sistema fue de 49.2 t /ha para sistemas con una distribución de 6x6 m, para sistemas distribuidos a una distancia de 9 x 9 m obtuvo un total de 36.8 t /ha y en una tercera parcela con distribución de 12x12 m obtuvo un total de 22.9 t /ha todas las parcelas tenían una edad de 25 años, sin embargo, en la presente investigación se utilizó el método no destructivo para evaluar la cantidad de Carbono capturado por el *Theobroma Cacao L*, donde todas las parcelas evaluadas presentaron una distribución de 3x3m y la parcela que presentaba la edad de 10 años fue la parcela PA10, donde se observó que capturó un total de 22.700 Kg de C, esto se debe a que en la parcela evaluada en este trabajo de investigación se encontró 10 individuos y se utilizó el método no destructivo y el

cálculo de captura de C se realizó de la parte del fuste de los árboles, y se observó que en las parcelas de *Theobroma Cacao L.* con 100 árboles obtuvo 323.829 Kg.

En el presente trabajo de investigación se evaluó la Captura de Carbono del *Theobroma cacao L* con modelamiento y redes neuronales artificiales, donde se determinó que la Captura de Carbono observado del fuste de *Theobroma cacao L.* de todas las parcelas evaluadas fue de 161.915 Kg de C con una biomasa total de 323.829 Kg. La Captura de Carbono estimado con modelamiento es de 155.476 Kg de C y La Captura de Carbono estimado con RNA fue de 162.067 kg de C. Su comparación de la correlación entre los datos de Captura de Carbono observado y estimado con la técnica modelamiento es de  $R^{\hat{Y}Y} = 0.7838$  y de redes neuronales artificiales es de  $R^{\hat{Y}Y} = 0.9859$ . El RNA al comparar con la regresión de modelamiento, su correlación se acerca más a 1, presentando así mejor confiabilidad, el presente estudio justifica su uso por presentar una alta correlación de los datos observados y estimados al usar las Redes Neuronales Artificiales.

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolló esta investigación se llega a las siguientes conclusiones:

- Se Evaluó la Captura de Carbono del fuste del *Theobroma cacao* L con modelamiento y redes neuronales artificiales en el Centro Poblado Jose Olaya, distrito de Nieva, Provincia de Condorcanqui, Región de Amazonas.
- La Captura de Carbono observado del fuste de *Theobroma cacao* L. de todas las parcelas evaluadas fue de 161.915 Kg de C con una biomasa total de 323.829 Kg.
- La Captura de Carbono estimado con modelamiento es de 155.476 Kg de C
- La Captura de Carbono estimado con RNA es de 162.067 kg de C.
- La comparación de la correlación entre los datos de Captura de Carbono observado y estimado con la técnica modelamiento es de  $R\hat{Y}Y = 0.7838$  y de redes neuronales artificiales es de  $R\hat{Y}Y = 0.9859$ . El RNA al comparar con la regresión de modelamiento, su correlación se acerca más a 1, presentando así mejor confiabilidad.

## VI. RECOMENDACIONES

- Utilizar la técnica de sistemas computacionales de redes neuronales artificiales para una estimación y proyección de Captura de Carbono, ya que el presente estudio justifica su uso por presentar una alta correlación de los datos observados y estimados.
- Conllevar el estudio realizado a la concientización ambiental de Captura de Carbono que genera el fuste de los árboles de *Theobroma cacao* L.
- Difundir información de la importancia de los árboles en la Captura de Carbono para la mitigación del cambio climático y mejoramiento de la calidad de vida de los seres vivos.
- Las redes neuronales artificiales se implican en área de generación de conocimiento continuo que influye profesionales de diferentes especialidades para la búsqueda de solución de problemas a partir de algoritmos matemáticos. En el campo de la ingeniería forestal de latino américa, ha destacado el país de Brasil, aplicando estas técnicas para solución problemas de estimaciones a partir de variables mensurables, entre ellas el volumen de los árboles. Las experiencias locales aún son escasas, en este sentido, sería importante la aplicación de estas técnicas de estimaciones a nivel de estratificación de diferentes especies forestales.
- Cabe destacar que en el presente proyecto se aplica las redes neuronales artificiales permitiendo inferir en la proyección de la estimación volumétrica de la especie de *Theobroma cacao* L, agregando variables cuantitativas como el dap, altura, densidad y volumen, utilizando métodos clásicos de regresión en modelación matemática y también el método inteligencia artificial, destacando este por su procesamiento estadístico y confiabilidad de los datos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Agraria Condorcanqui. (2014). Padrón de productores de cacao distrito Nieva, Condorcanqui, Amazonas, Perú. Oficina de información agraria. Santa María de Nieva, pag.3.
- Alcântara, A. E. M. D. (2015). Redes neurais artificiais para prognose do crescimento e da produção de povoamentos de eucalipto em Minas Gerais.
- Arévalo, E. (2011). Identificación del Cacao Criollo como Producto Nativo de la Biodiversidad de San Martín y Evaluación de su Potencialidad Regional, Lima: Perúbiodiverso.
- Avendaño, D. M., Acosta, M., Carrillo, F., & Etchevers, J. D. (2009). Estimación de biomasa y Carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Revista fitotecnia mexicana, 32(3), 233-238.
- Batista, L. (2009). Guía técnica: el cultivo de cacao en la República Dominicana (No. C061. 066). Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).
- Benjamín, J. A., & Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. Madera y bosques, 7(1).
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. Forest Science, 46(3), 397-409.
- Binoti, D. H. B., da Silva Binoti, M. L. M., & Leite, H. G. (2014). Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), 5(1), 10-12953.
- Binoti, M. L. M. D. S. (2010). Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto.
- Braga, A. D. P., Carvalho, A. C. P. L. F., & Ludermir, T. B. (2000). Redes neurais artificiais: teoria e aplicações. Livros Técnicos e Científicos.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer (Vol. 134). Food & Agriculture Org, 35.

- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., & Kauppi, P. E. (1996). Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Review*, 80-91.
- Bruce, D., Curtis, R. O., & Vancoevering, C. (1968). Development of a system of taper and volume tables for red alder. *Forest Science*, 14(3), 339-350.
- Bullinaria, J. A. (2014). Introduction to neural computation. Notas de aula. Dispo, pag.19.
- Cadena M., O.I. & G. Ángeles P. (2005). Almacenes de Carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Chihuahua, Mexico. 422-423.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. (2013). *Mensuração florestal: Perguntas e respostas*. Viçosa: UFV. 4. ed. 605 p.
- Campos, J. C. C.; Leite, H. G. (2013). *Mensuração florestal: Perguntas e respostas*. Viçosa: UFV. 4. ed. 605 p.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., & Max, T. A. (1980). Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, 26(1), 71-80.
- Carbajal. (2008). Concejo Superior de Investigaciones Científicas. Obtenido de investigación Sobre La Absorción Del Co2 Por Los Cultivos Más Representativos: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3658E/A3658E>.
- Casas G. (2018). *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*. Regulación de la producción forestal con pronósticos de modelación Clutter y redes neuronales artificiales en plantaciones de eucalipto del Estado de Minas Gerais – Brasil.  
Representativos: <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/266>.
- Castro Z., R., R. Arteaga R., M. Vázquez P. & J. L. Jiménez R. (2002). *Introducción a la meteorología*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 247 p.
- Cordeiro, M. A., de Jesus Pereira, N. N., Binoti, D. H. B., da Silva Binoti, M. L. M., & Leite, H. G. (2015). Estimativa do volume de *Acacia mangium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(83), 255-261.
- Cown, D. J. (1978). Comparison of the pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 8(3), 384-391.

- Demaerschalk, J. P. (1973). Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 3(1), 90-94.
- Einspahr, D.W., J.P. Van Buijtenen & J.R. Peckham. (1969). Pulping characteristics of ten-year loblolly pine selected for extreme wood specific gravity. *Sil. Gen.* 18(3):57-61.
- Enciclopedia de Salud, Dietética & Psicología. (2016). Enciclopediasalud. Recuperado de <http://www.enciclopediasalud.com/definiciones/cacao/>
- Enríquez, G. A. (1985). Curso sobre el cultivo del cacao (No. 22). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Epstein, P. R., & Rogers, C. A. (2004). Inside the greenhouse: The impacts of CO<sub>2</sub> and climate change on public health in the inner city.
- Fang, Z., & Bailey, R. L. (1999). Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in Southern China. *Forest Science*, 45(1), 85-100.
- García, M. P., Rivas, J. J. C., Vásquez, M. A. D., & Salvador, M. M. (2009). Función De Ahusamiento Y Volumen Compatible Para Pinus Arizonica Engelm. En El Suroeste De Chihuahua. (105), 119.
- Godfrey, G. A., & Garthwaite, D. K. (1984). Rapid assessment of outerwood specific gravity in live trees using a pocket durometer. *Canadian Journal of Forest Research*, 14(1), 145-150.
- Görgens, E. B. (2006). Estimación do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais.
- Gutiérrez V.H. & Lopera G.J. (2002). Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de Carbono en plantaciones forestales. In simposio internacional medición y monitoreo de la captura de Carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, 2.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). Methods for sampling carbon stocks above and below ground. Bogor, Indonesia: ICRAF.
- Haykin, S. (2001). *Redes Neurais Princípios e Aplicações*. Segunda Edição. Porto Alegre.
- Haykin, S. (2001). *Redes Neurais Princípios e Aplicações*. Segunda Edição. Porto Alegre.
- Heaton, J. (2011). *Introduction to the math of neural networks*. St. Louis. 92.
- Heaton, J. (2011). *Introduction to the math of neural networks*. St. Louis. 92.
- Herrera, C. M. (1989). Frugivory and seed dispersal by carnivorous mammals, and associated fruit characteristics, in undisturbed Mediterranean habitats. *Oikos*, 250-262.

- Hilt, D. E. (1980). Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *Forest Science*, 26(1), 117-120.
- Hoover, C. M. (Ed.). (2008). *Field measurements for forest carbon monitoring: a landscape-scale approach*. Springer Science & Business Media.
- Houghton, R. A., & D. L. Skole, (1990). "Changes in the carbon cycle between 1700 and 1985". En: *The Earth Transformed by Human Action*,. B.L. Turner (ed.), Cambridge.
- INEI & MINAG, (1996), Resultados definitivos departamento Cajamarca 19 III Censo Nacional Agropecuario. En: *III Censo Nacional Agropecuario*. Lima: Dirección Técnica de Censos y Encuestas. Tomo III, pp. 1498-1513.
- Instituto de Cultivos Tropicales (ICT). (2004). *Manual "Manejo Integrado del Cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonia Peruana"*.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático). (2000). *Land use, landuse change, and forestry special report*. Cambridge University Press. Cambridge. 377
- IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1995). *Climate change : Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC 1S92 emission scenarios*.
- Jozsa, L. A., & Brix, H. (1989). The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24-year-old Douglas-fir stand. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(9), 1137-1145.
- Kosko, B. (1992). *Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence/book and disk*. Vol. 1 Prentice hall.
- Kozak, A., Munro, D. D., & Smith, J. H. G. (1969). Taper functions and their application in forest inventory. *The Forestry Chronicle*, 45(4), 278-283.
- Kozak, A., Munro, D. D., & Smith, J. H. G. (1969). Taper functions and their application in forest inventory. *The Forestry Chronicle*, 45(4), 278-283.
- Magalhães, J. G. D. S. (2014). *Prognose e Regulação de Florestas de eucalipto utilizando Modelo de Crescimento e Inteligência Computacional*
- Manzo, S. V., & Hernández, J. V. (2016). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques*, 3(1), 81-87.
- Marques da Silva Binoti, M. L., Breda Binoti, D. H., Garcia Leite, H., Lages Ribeiro Garcia, S., Ferreira, M. Z., Rode, R., & Araújo Lopes da Silva, A. (2014). Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. *Revista Árvore*, 38(2).

- Marques da Silva, M. L., Binoti, D. H., Gleriani, J. M., & Leite, H. (2009). Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. *Revista Árvore*, 33(6).
- Max, T. A., & Burkhart, H. E. (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22(3), 283-289.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of mathematical biology*, 5(4), 115-133.
- Méndez-González, J., Luckie-Navarrete, S. L., Capó-Arteaga, M. Á., & Nájera-Luna, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y Carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 45(4), 479-491.
- Nordhaus, W. D. (1991). Economic approaches to greenhouse warming. *Global warming: Economic policy responses*, 33.
- Notivol, E., Gil, L. A., & Pardos, J. A. (1992). Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. *Forest Systems*, 1(1), 41-47.
- Ordoñez, J. (1999). Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México D: F: Instituto Nacional de Ecología, 81.
- Ordoñez, J. A., & HJ de Jong, B. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*, 7(2).
- Ormerod, D. W. (1973). A simple bole model. *The Forestry Chronicle*, 49(3), 136-138.
- Ortiz G. A. M. y Riascos C. L. D.( 2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica.
- Ortiz, Á., Riascos, L., y Somarriba Chávez, E.(2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*).
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Brooks, J. R., & Wiant, H. V. (2010). Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. *Journal of environmental management*, 91(3), 742-753.
- Parresol, B. R. (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest science*, 45(4), 573-593.

- Parresol, B. R., & Thomas, C. E. (1996). A simultaneous density-integral system for estimating stem profile arid biomass: slash pine and willow oak. *Canadian journal of forest research*, 26(5), 773-781.
- Pizarro Cabezas Rosa; Euler, Michael. (2013). Análisis del contexto productivo comunal en las provincias de Bagua y Condorcanqui, región Amazonas. Lima, 9.
- Ramírez, O. A., & Gómez, (1999). Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono, 17.
- Riaño, H., Tangarife, N. M., Osorio, G., Giraldo, O., Ospina, J. F., Obando, C. M.,... & Riaño, L. F. (2005). Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico (No. Doc. 22670) CO-BAC, Bogotá).
- Rodríguez Laguna, R., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó. A., & Treviño Garza, E. J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*, 9(2).
- Rondon, J. G. (1990). Morfología y genética del cacao. Seminario nacional de actualización en cacao con énfasis en rehabilitación de plantaciones. Manizales, Colombia. 13 - 27.
- Roy, J., Mooney, H. A., & Saugier, B. (Eds.). (2001). *Terrestrial global productivity*. Academic Press.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & McClelland, J. L. (1986). A general framework for parallel distributed processing. *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*, 1, 45-76.
- Segura M. (1997). Almacenamiento y fijación de Carbono en *Quercus costarricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, 34.
- Silva, I. D., Spatti, D. H., & Flauzino, R. A. (2010). Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas. *São Paulo: Artliber*, 33-111.
- Smith, D. M. (1955). A comparison of two methods for determining the specific gravity of small samples of second-growth Douglas-fir. Madison, Wis.: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p.4.
- Soares, C. P. B., de Paula Neto, F., & de Souza, A. L. (2006). Dendrometria e inventário florestal. UFV.
- Soca, M., Francisco, A. G., Simón, L., & Roche, R. (2003). Producción animal y biodiversidad en un sistema silvopastoril de formación natural. *Pastos y Forrajes*, 26(4).

- Sociedade de Investigações Florestais. (2012). Sitio NeuroForest Ayuda al inventario forestal. Recuperado de <http://www.sif.org.br/noticia/site-neuroforest--ajuda-o-inventaacuterio-florestal>
- Sprague, J. R., Talbert, J. T., Jett, J. B., & Bryant, R. L. (1983). Utility of the Pilodyn in selection for mature wood specific gravity in loblolly pine. *Forest Science*, 29(4), 696-701.
- Valera G. R. K. 2013. Determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en un sistema theobroma sp “cacao” con sombra en alto el sol.
- Vásquez, G. (1987). Crecimiento de un bosque de guandal explotado en el litoral pacífico colombiano. Medellín, 212.
- Vital, D. (1985). Does platelet antiaggregant therapy lessen the severity of stroke?. *Neurology*, 35(5), 632-632.
- Vitousek, P. M. et al. (1986). “Global environmental change: an introduction”. Department of Biological Sciences. Stanford University, CA; 1986. Tomado de “Human appropriation of products of photosynthesis”. *Biosciences* 36(368-373).
- Zapata, M; Colorado, G.J. & Del Valle, J. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 87-119.
- Zhang, L., Peng, C., Huang, S., & Zhou, X. (2002). Development and evaluation of ecoregion-based jack pine height-diameter models for Ontario. *The Forestry Chronicle*, 78(4), 530-538.
- Zobel, B. J., & Van Buijtenen, J. P. (1989). Wood variation-its causes and control. *Springer Verlag: Berlin, etc*, 363, 439-40.
- Zobel, B., & Talbert, J. (1984). Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons.

# **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1. Inventario y datos de los árboles de *Theobroma cacao L.* en cada parcela de Evaluación.**

PARCELAS	CACAO	COORDENADAS UTM		ÁREA (m <sup>2</sup> )	MUESTRAS						Árbol						v m <sup>3</sup>	Biomasa kg
		ESTE	NORTE		Long. cm	Peso gr	Radio cm	V	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	CAP1	DAP1	CAP2	DAP2	HT	HM		
PA01	FG-01	171712	9466291	10000	11	0.67	0.025	0.022	31.021	0.310	57	18.144	55	17.507	3	1	0.016	4.943
	FG-02	171703	9466292	10000	8.2	0.58	0.025	0.016	36.023	0.360	49	15.597	47	14.961	2.5	0.8	0.008	3.033
	FG-03	171707	9466299	10000	11.5	0.68	0.025	0.023	30.115	0.301	45	14.324	43	13.687	3	1.2	0.013	3.836
	FG-04	171701	9466310	10000	11	0.6	0.025	0.022	27.780	0.278	47	14.961	45	14.324	2.5	0.8	0.008	2.152
	FG-05	171706	9466318	10000	7.8	0.50	0.025	0.015	32.647	0.326	35	11.141	33	10.504	4	1.2	0.008	2.521
	FG-06	171705	9466333	10000	11.9	0.76	0.025	0.023	32.526	0.325	57	18.144	55	17.507	3.5	0.8	0.011	3.699
	FG-07	171683	9466345	10000	11	0.66	0.025	0.022	30.558	0.306	53	16.870	48	15.279	3	1.2	0.018	5.399
	FG-08	171671	9466351	10000	12.7	0.80	0.025	0.025	32.082	0.321	57	18.144	55	17.507	2.5	0.8	0.011	3.655
	FG-09	171665	9466350	10000	11.7	0.70	0.025	0.023	30.471	0.305	53	16.870	52	16.552	2.5	1.2	0.018	5.353
	FG-10	171661	9466358	10000	10.5	0.60	0.025	0.021	29.103	0.291	57	18.144	55	17.507	3	1	0.016	4.638
PA02	FT-01	172114	9467010	10000	6.1	0.34	0.025	0.012	28.387	0.284	27	8.594	23	7.321	2.5	0.8	0.003	0.726
	FT-02	172121	9466997	10000	7.3	0.42	0.025	0.014	29.302	0.293	25	7.958	23	7.321	2.5	0.5	0.001	0.257
	FT-03	172127	9466997	10000	6.9	0.35	0.025	0.014	25.834	0.258	27	8.594	25	7.958	2	0.5	0.001	0.264
	FT-04	172122	9466985	10000	9.1	0.46	0.025	0.018	25.745	0.257	31	9.868	27	8.594	2.5	0.5	0.001	0.347
	FT-05	172109	9466974	10000	8.4	0.50	0.025	0.016	30.315	0.303	27	8.594	25	7.958	3	1.5	0.006	1.840
	FT-06	172104	9466967	10000	10.1	0.54	0.025	0.020	27.230	0.272	44	14.006	41	13.051	3.5	0.8	0.007	1.845
	FT-07	172086	9466974	10000	16.5	0.93	0.025	0.032	28.706	0.287	53	16.870	51	16.234	3.5	0.8	0.010	2.823
	FT-08	172083	9466970	10000	13	0.91	0.025	0.026	35.651	0.357	57	18.144	55	17.507	3	0.8	0.011	4.060
	FT-09	172076	9466981	10000	9	0.50	0.025	0.018	28.294	0.283	47	14.961	45	14.324	3.5	1.2	0.014	3.939
	FT-10	172067	9466986	10000	13	0.92	0.025	0.026	36.042	0.360	45	14.324	43	13.687	3	1	0.010	3.580
PA03	CT-01	172218	9467244	10000	9	0.56	0.025	0.018	31.690	0.317	35	11.141	39	12.414	3	0.7	0.003	1.088
	CT-02	172209	9467248	10000	7	0.42	0.025	0.014	30.558	0.306	30	9.549	27	8.594	2.7	1.5	0.007	2.275
	CT-03	172203	9467256	10000	10.9	0.73	0.025	0.021	34.109	0.341	44	14.006	41	13.051	3.5	1.2	0.012	4.161

	<b>CT-04</b>	172187	9467254	10000	14	0.86	0.025	0.027	31.285	0.313	46	14.642	44	14.006	3	1.5	0.018	5.511	
	<b>CT-05</b>	172185	9467243	10000	14.5	0.83	0.025	0.028	29.153	0.292	52	16.552	50	15.915	2.5	0.8	0.009	2.764	
	<b>CT-06</b>	172186	9467233	10000	8.3	0.5	0.025	0.016	30.680	0.307	32	10.186	29	9.231	2	1.2	0.006	1.934	
	<b>CT-07</b>	172180	9467229	10000	9.3	0.59	0.025	0.018	32.310	0.323	34	10.823	33	10.504	2.5	1	0.006	1.828	
	<b>CT-08</b>	172175	9467219	10000	9.5	0.61	0.025	0.019	32.702	0.327	35	11.141	33	10.504	2.5	0.8	0.004	1.405	
	<b>CT-09</b>	172196	9467218	10000	7	0.44	0.025	0.014	32.013	0.320	27	8.594	25	7.958	2.5	1.2	0.005	1.459	
	<b>CT-10</b>	172207	9467210	10000	10.2	0.69	0.025	0.020	34.452	0.345	47	14.961	46	14.642	2.5	1	0.011	3.724	
	<b>PA04</b>	<b>BT-01</b>	172307	9467422	10000	13	0.85	0.025	0.026	33.300	0.333	51	16.234	47	14.961	2.5	0.8	0.009	3.037
		<b>BT-02</b>	172296	9467413	10000	10	0.64	0.025	0.020	32.595	0.326	39	12.414	35	11.141	2.5	1.2	0.010	3.100
		<b>BT-03</b>	172289	9467411	10000	9	0.57	0.025	0.018	32.255	0.323	37	11.777	40	12.732	3	1.5	0.011	3.676
<b>BT-04</b>		172288	9467434	10000	12	0.5	0.025	0.024	21.221	0.212	45	14.324	38	12.096	2.5	0.8	0.007	1.507	
<b>BT-05</b>		172300	9467439	10000	7.65	0.49	0.025	0.015	32.622	0.326	33	10.504	35	11.141	2.5	0.8	0.004	1.246	
<b>BT-06</b>		172313	9467442	10000	12.3	0.76	0.025	0.024	31.469	0.315	45	14.324	41	13.051	2.5	0.8	0.007	2.234	
<b>BT-07</b>		172339	9467432	10000	10.1	0.67	0.025	0.020	33.785	0.338	46	14.642	41	13.051	3.5	1.2	0.013	4.505	
<b>BT-08</b>		172344	9467426	10000	7.1	0.51	0.025	0.014	36.583	0.366	36	11.459	34	10.823	3	1.5	0.011	3.947	
<b>BT-09</b>		172351	9467420	10000	10	0.64	0.025	0.020	32.595	0.326	39	12.414	35	11.141	2.5	1	0.007	2.426	
<b>BT-10</b>		172359	9467401	10000	12.8	0.82	0.025	0.025	32.627	0.326	51	16.234	48	15.279	4	1.6	0.024	7.707	
<b>PA05</b>	<b>MB-01</b>	172048	9466963	10000	6.5	0.45	0.025	0.013	35.259	0.353	39	12.414	37	11.777	3	0.8	0.005	1.880	
	<b>MB-02</b>	172044	9466958	10000	10.8	0.72	0.025	0.021	33.953	0.340	51	16.234	50	15.915	3.5	0.8	0.009	3.091	
	<b>MB-03</b>	172051	9466952	10000	9.2	0.62	0.025	0.018	34.322	0.343	47	14.961	45	14.324	2.5	1	0.011	3.710	
	<b>MB-04</b>	172050	9466941	10000	9.3	0.53	0.025	0.018	29.024	0.290	51	16.234	49	15.597	2.5	0.8	0.009	2.647	
	<b>MB-05</b>	172040	9466937	10000	11.5	0.75	0.025	0.023	33.215	0.332	57	18.144	53	16.870	3	1	0.016	5.293	
	<b>MB-06</b>	172045	9466932	10000	14	0.91	0.025	0.027	33.104	0.331	52	16.552	51	16.234	2.5	0.8	0.009	3.139	
	<b>MB-07</b>	172044	9466927	10000	10	0.67	0.025	0.020	34.123	0.341	52	16.552	48	15.279	3	1	0.013	4.525	
	<b>MB-08</b>	172024	9466950	10000	10.6	0.73	0.025	0.021	35.074	0.351	53	16.870	51	16.234	3	0.8	0.010	3.453	
	<b>MB-09</b>	172013	9466958	10000	10.2	0.64	0.025	0.020	31.956	0.320	47	14.961	45	14.324	3.5	1.2	0.014	4.448	
	<b>MB-10</b>	172005	9466954	10000	9.5	0.54	0.025	0.019	28.949	0.289	53	16.870	52	16.552	4	1	0.014	3.985	
<b>PA06</b>	<b>IG-01</b>	171833	9466265	10000	5.5	0.37	0.025	0.011	34.262	0.343	39	12.414	38	12.096	2.5	0.8	0.005	1.827	

	<b>IG-02</b>	171830	9466257	10000	5.9	0.31	0.025	0.012	26.760	0.268	25	7.958	23	7.321	3	1.5	0.005	1.392
	<b>IG-03</b>	171823	9466233	10000	11.3	0.67	0.025	0.022	30.197	0.302	37	11.777	32	10.186	3.5	1	0.007	2.028
	<b>IG-04</b>	171806	9466229	10000	9.6	0.58	0.025	0.019	30.770	0.308	27	8.594	25	7.958	3	1.2	0.005	1.411
	<b>IG-05</b>	171801	9466215	10000	14.3	0.85	0.025	0.028	30.273	0.303	53	16.870	51	16.234	2.5	0.8	0.010	2.982
	<b>IG-06</b>	171798	9466206	10000	11.2	0.69	0.025	0.022	31.376	0.314	52	16.552	48	15.279	3	1	0.013	4.161
	<b>IG-07</b>	171796	9466189	10000	10.9	0.65	0.025	0.021	30.371	0.304	42	13.369	37	11.777	3	1.2	0.011	3.370
	<b>IG-08</b>	171789	9466179	10000	11	0.68	0.025	0.022	31.484	0.315	45	14.324	42	13.369	2.5	0.8	0.007	2.235
	<b>IG-09</b>	171776	9466184	10000	12	0.74	0.025	0.024	31.407	0.314	57	18.144	53	16.870	3.5	1.5	0.027	8.542
	<b>IG-10</b>	171772	9466192	10000	11.4	0.72	0.025	0.022	32.166	0.322	53	16.870	48	15.279	4	1.5	0.024	7.582
	<b>PA07</b>	<b>MC-01</b>	174142	9465496	10000	5.4	0.36	0.025	0.011	33.953	0.340	27	8.594	23	7.321	2.5	1.5	0.006
<b>MC-02</b>		174138	9465483	10000	5.8	0.39	0.025	0.011	34.246	0.342	25	7.958	22	7.003	3	1.2	0.004	1.346
<b>MC-03</b>		174144	9465477	10000	7.5	0.47	0.025	0.015	31.916	0.319	27	8.594	25	7.958	2	0.8	0.003	0.813
<b>MC-04</b>		174140	9465472	10000	9.2	0.54	0.025	0.018	29.893	0.299	25	7.958	23	7.321	3	0.8	0.002	0.655
<b>MC-05</b>		174140	9465465	10000	7.7	0.49	0.025	0.015	32.410	0.324	27	8.594	25	7.958	2.5	0.8	0.003	0.828
<b>MC-06</b>		174149	9465468	10000	7	0.47	0.025	0.014	34.196	0.342	25	7.958	23	7.321	2.5	0.8	0.002	0.749
<b>MC-07</b>		174149	9465478	10000	6.6	0.42	0.025	0.013	32.410	0.324	27	8.594	24	7.639	2.5	0.5	0.001	0.331
<b>MC-08</b>		174150	9465488	10000	5.3	0.38	0.025	0.010	36.516	0.365	27	8.594	25	7.958	2.5	0.8	0.003	0.933
<b>MC-09</b>		174154	9465486	10000	7.5	0.46	0.025	0.015	31.237	0.312	23	7.321	22	7.003	2	0.5	0.001	0.232
<b>MC-10</b>		174158	9465496	10000	7	0.47	0.025	0.014	34.196	0.342	23	7.321	21	6.685	2.5	0.5	0.001	0.254
<b>PA08</b>	<b>EB-01</b>	171357	9465475	10000	6.5	0.39	0.025	0.013	30.558	0.306	42	13.369	40	12.732	3	1.6	0.016	4.844
	<b>EB-02</b>	171365	9465490	10000	12.5	0.72	0.025	0.025	29.335	0.293	52	16.552	48	15.279	3.5	1.5	0.023	6.641
	<b>EB-03</b>	171355	9465563	10000	11.3	0.72	0.025	0.022	32.451	0.325	42	13.369	39	12.414	3	1.5	0.015	4.765
	<b>EB-04</b>	171323	9465580	10000	8	0.5	0.025	0.016	31.831	0.318	34	10.823	30	9.549	2.5	1.4	0.009	2.788
	<b>EB-05</b>	171272	9465579	10000	10.9	0.79	0.025	0.021	36.912	0.369	44	14.006	41	13.051	3	1.2	0.012	4.495
	<b>EB-06</b>	171256	9465575	10000	14.5	0.89	0.025	0.028	31.260	0.313	56	17.825	52	16.552	2.5	1	0.015	4.797
	<b>EB-07</b>	171263	9465561	10000	7.5	0.37	0.025	0.015	25.125	0.251	25	7.958	22	7.003	2	1	0.003	0.762
	<b>EB-08</b>	171261	9465537	10000	11.7	0.76	0.025	0.023	33.082	0.331	52	16.552	47	14.961	4	1	0.013	4.383
	<b>EB-09</b>	171277	9465534	10000	13.5	0.85	0.025	0.027	32.067	0.321	58	18.462	56	17.825	3.5	1	0.016	5.291

	<b>EB-10</b>	171291	9465511	10000	9.4	0.6	0.025	0.018	32.508	0.325	51	16.234	50	15.915	2.5	1	0.013	4.137
<b>PA09</b>	<b>RB-01</b>	170735	9466677	10000	14.3	0.91	0.025	0.028	32.410	0.324	57	18.144	49.5	15.756	2.2	0.9	0.014	4.414
	<b>RB-02</b>	170605	9466725	10000	7.1	0.47	0.025	0.014	33.714	0.337	27	8.594	22	7.003	2.7	1.7	0.007	2.347
	<b>RB-03</b>	170612	9466710	10000	6.7	0.45	0.025	0.013	34.206	0.342	25.5	8.117	21	6.685	3.5	1.7	0.006	2.163
	<b>RB-04</b>	170628	9466714	10000	7.6	0.48	0.025	0.015	32.166	0.322	32	10.186	30	9.549	4	1.7	0.010	3.217
	<b>RB-05</b>	170639	9466732	10000	7.7	0.5	0.025	0.015	33.071	0.331	31	9.868	29	9.231	3.5	1.8	0.010	3.303
	<b>RB-06</b>	170637	9466762	10000	15.1	0.94	0.025	0.030	31.705	0.317	50	15.915	27	8.594	3.5	1.2	0.016	4.995
	<b>RB-07</b>	170635	9466779	10000	9.9	0.61	0.025	0.019	31.381	0.314	45	14.324	40	12.732	3.5	1.5	0.017	5.320
	<b>RB-08</b>	170639	9466787	10000	6.5	0.44	0.025	0.013	34.475	0.345	26	8.276	25	7.958	2.7	1.5	0.006	1.928
	<b>RB-09</b>	170568	9466814	10000	13.3	0.82	0.025	0.026	31.400	0.314	56	17.825	50	15.915	3	1.2	0.020	6.194
	<b>RB-10</b>	170561	9466792	10000	7.4	0.5	0.025	0.015	34.412	0.344	34	10.823	31	9.868	3.5	1.5	0.010	3.330
<b>PA10</b>	<b>ST-01</b>	172283	9467325	10000	10	0.57	0.025	0.020	29.030	0.290	49	15.597	47	14.961	3	0.8	0.008	2.443
	<b>ST-02</b>	172270	9467313	10000	6.4	0.36	0.025	0.013	28.648	0.286	27	8.594	25	7.958	3	1.2	0.005	1.314
	<b>ST-03</b>	172269	9467297	10000	12	0.82	0.025	0.024	34.802	0.348	51	16.234	49	15.597	3.5	1.5	0.022	7.578
	<b>ST-04</b>	172264	9467277	10000	10.7	0.68	0.025	0.021	32.366	0.324	49	15.597	41	13.051	3	1.5	0.020	6.469
	<b>ST-05</b>	172259	9467279	10000	11.5	0.73	0.025	0.023	32.329	0.323	51	16.234	46	14.642	3.5	1	0.013	4.124
	<b>ST-06</b>	172242	9467281	10000	10.5	0.71	0.025	0.021	34.438	0.344	48	15.279	40	12.732	3	1	0.011	3.892
	<b>ST-07</b>	172244	9467273	10000	11	0.67	0.025	0.022	31.021	0.310	47	14.961	44	14.006	3.5	1.2	0.014	4.318
	<b>ST-08</b>	172247	9467266	10000	6	0.87	0.025	0.012	73.848	0.738	48	15.279	46	14.642	3	1	0.011	8.345
	<b>ST-09</b>	172266	9467265	10000	10.9	0.69	0.025	0.021	32.240	0.322	45	14.324	43	13.687	2.5	1	0.010	3.195
	<b>ST-10</b>	172262	9467258	10000	12.6	0.85	0.025	0.025	34.357	0.344	47	14.961	45	14.324	3	1	0.011	3.722

ANEXO 2. Cuantificación de Captura de Carbono del *Theobroma cacao L.* Con Modelamiento y Resultados Estadísticos.

PARCELAS	CACAO	Carbono Observado	Carbono Estimado	SESGO	RQEM	MDA	CORRELACION	RES%	CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA %
PA01	FG-01	2.4716	2.6549	-0.0018	0.0003	0.0018	0.6585	7.4133	100	0	0.000
	FG-02	1.5163	1.5132	0.0000	0.0000	0.0000	0.7873	-0.2022	95	0	0.000
	FG-03	1.9180	1.6739	0.0024	0.0006	0.0024	0.8964	-12.7272	90	1	1.299
	FG-04	1.0758	1.3950	-0.0032	0.0010	0.0032	<b>0.7838</b>	29.6756	85	0	0.000
	FG-05	1.2603	1.5622	-0.0030	0.0009	0.0030		23.9570	80	2	2.597
	FG-06	1.8496	3.3274	-0.0148	0.0218	0.0148		79.8951	75	2	2.597
	FG-07	2.6996	2.3035	0.0040	0.0016	0.0040		-14.6750	70	0	0.000
	FG-08	1.8273	2.0326	-0.0021	0.0004	0.0021		11.2369	65	2	2.597
	FG-09	2.6764	1.7636	0.0091	0.0083	0.0091		-34.1039	60	0	0.000
	FG-10	2.3188	2.6549	-0.0034	0.0011	0.0034		14.4928	55	1	1.299
PA02	FT-01	0.3628	0.4730	-0.0011	0.0001	0.0011		30.3756	50	0	0.000
	FT-02	0.1283	0.4070	-0.0028	0.0008	0.0028		217.1451	45	1	1.299
	FT-03	0.1322	0.3411	-0.0021	0.0004	0.0021		157.9443	40	0	0.000
	FT-04	0.1734	0.6193	-0.0045	0.0020	0.0045		257.2042	35	4	5.195
	FT-05	0.9198	0.6178	0.0030	0.0009	0.0030		-32.8368	30	1	1.299
	FT-06	0.9227	2.0079	-0.0109	0.0118	0.0109		117.6160	25	2	2.597
	FT-07	1.4113	2.8870	-0.0148	0.0218	0.0148		104.5627	20	2	2.597
	FT-08	2.0300	2.6549	-0.0062	0.0039	0.0062		30.7782	15	5	6.494
	FT-09	1.9694	2.2836	-0.0031	0.0010	0.0031		15.9573	10	6	7.792
	FT-10	1.7899	1.6739	0.0012	0.0001	0.0012		-6.4816	5	4	5.195
PA03	CT-01	0.5440	1.0251	-0.0048	0.0023	0.0048		88.4172	0	5	6.494
	CT-02	1.1373	0.6503	0.0049	0.0024	0.0049		-42.8258	-5	2	2.597
	CT-03	2.0807	2.0079	0.0007	0.0001	0.0007		-3.5005	-10	2	2.597

	<b>CT-04</b>	2.7553	1.7472	0.0101	0.0102	0.0101		-36.5870	-15	8	10.390
	<b>CT-05</b>	1.3820	1.6993	-0.0032	0.0010	0.0032		22.9611	-20	9	11.688
	<b>CT-06</b>	0.9669	0.4752	0.0049	0.0024	0.0049		-50.8504	-25	4	5.195
	<b>CT-07</b>	0.9138	0.7417	0.0017	0.0003	0.0017		-18.8418	-30	0	0.000
	<b>CT-08</b>	0.7023	0.7848	-0.0008	0.0001	0.0008		11.7502	-35	8	10.390
	<b>CT-09</b>	0.7297	0.4730	0.0026	0.0007	0.0026		-35.1832	-40	0	0.000
	<b>CT-10</b>	1.8620	1.3950	0.0047	0.0022	0.0047		-25.0793	-45	3	3.896
<b>PA04</b>	<b>BT-01</b>	1.5184	1.6361	-0.0012	0.0001	0.0012		7.7490	-50	3	3.896
	<b>BT-02</b>	1.5502	0.9693	0.0058	0.0034	0.0058		-37.4709	-55	0	0.000
	<b>BT-03</b>	1.8379	1.1425	0.0070	0.0048	0.0070		-37.8382	-60	0	0.000
	<b>BT-04</b>	0.7533	1.2816	-0.0053	0.0028	0.0053		70.1172	-65	0	0.000
	<b>BT-05</b>	0.6228	0.6997	-0.0008	0.0001	0.0008		12.3478	-70	0	0.000
	<b>BT-06</b>	1.1171	1.2816	-0.0016	0.0003	0.0016		14.7172	-75	0	0.000
	<b>BT-07</b>	2.2526	2.1898	0.0006	0.0000	0.0006		-2.7863	-80	0	0.000
	<b>BT-08</b>	1.9733	1.0830	0.0089	0.0079	0.0089		-45.1188	-85	0	0.000
	<b>BT-09</b>	1.2130	0.9693	0.0024	0.0006	0.0024		-20.0868	-90	0	0.000
	<b>BT-10</b>	3.8533	3.2568	0.0060	0.0036	0.0060		-15.4813	-95	0	0.000
<b>PA05</b>	<b>MB-01</b>	0.9399	1.2660	-0.0033	0.0011	0.0033		34.6988	-100	0	0.000
	<b>MB-02</b>	1.5457	2.6782	-0.0113	0.0128	0.0113		73.2729		<b>77</b>	<b>100</b>
	<b>MB-03</b>	1.8550	1.3950	0.0046	0.0021	0.0046		-24.7950			
	<b>MB-04</b>	1.3235	1.6361	-0.0031	0.0010	0.0031		23.6220			
	<b>MB-05</b>	2.6465	2.6549	-0.0001	0.0000	0.0001		0.3175			
	<b>MB-06</b>	1.5693	1.6993	-0.0013	0.0002	0.0013		8.2840			
	<b>MB-07</b>	2.2627	2.2194	0.0004	0.0000	0.0004		-1.9138			
	<b>MB-08</b>	1.7267	2.3035	-0.0058	0.0033	0.0058		33.4000			
	<b>MB-09</b>	2.2242	2.2836	-0.0006	0.0000	0.0006		2.6706			
	<b>MB-10</b>	1.9923	3.5106	-0.0152	0.0231	0.0152		76.2083			
<b>PA06</b>	<b>IG-01</b>	0.9136	0.9693	-0.0006	0.0000	0.0006		6.1025			

	<b>IG-02</b>	0.6961	0.5316	0.0016	0.0003	0.0016		-23.6268			
	<b>IG-03</b>	1.0138	1.4319	-0.0042	0.0017	0.0042		41.2393			
	<b>IG-04</b>	0.7055	0.6178	0.0009	0.0001	0.0009		-12.4328			
	<b>IG-05</b>	1.4908	1.7636	-0.0027	0.0007	0.0027		18.3019			
	<b>IG-06</b>	2.0806	2.2194	-0.0014	0.0002	0.0014		6.6723			
	<b>IG-07</b>	1.6850	1.4630	0.0022	0.0005	0.0022		-13.1714			
	<b>IG-08</b>	1.1177	1.2816	-0.0016	0.0003	0.0016		14.6623			
	<b>IG-09</b>	4.2711	3.3274	0.0094	0.0089	0.0094		-22.0962			
	<b>IG-10</b>	3.7910	3.5106	0.0028	0.0008	0.0028		-7.3966			
	<b>PA07</b>	<b>MC-01</b>	1.0171	0.4730	0.0054	0.0030	0.0054		-53.4954		
<b>MC-02</b>		0.6732	0.5316	0.0014	0.0002	0.0014		-21.0249			
<b>MC-03</b>		0.4066	0.3411	0.0007	0.0000	0.0007		-16.1039			
<b>MC-04</b>		0.3274	0.5316	-0.0020	0.0004	0.0020		62.3550			
<b>MC-05</b>		0.4142	0.4730	-0.0006	0.0000	0.0006		14.1931			
<b>MC-06</b>		0.3747	0.4070	-0.0003	0.0000	0.0003		8.6360			
<b>MC-07</b>		0.1656	0.4730	-0.0031	0.0009	0.0031		185.6609			
<b>MC-08</b>		0.4667	0.4730	-0.0001	0.0000	0.0001		1.3532			
<b>MC-09</b>		0.1160	0.2495	-0.0013	0.0002	0.0013		115.0012			
<b>MC-10</b>		0.1268	0.3459	-0.0022	0.0005	0.0022		172.8657			
<b>PA08</b>	<b>EB-01</b>	2.4219	1.4630	0.0096	0.0092	0.0096		-39.5930			
	<b>EB-02</b>	3.3203	2.7816	0.0054	0.0029	0.0054		-16.2222			
	<b>EB-03</b>	2.3825	1.4630	0.0092	0.0085	0.0092		-38.5927			
	<b>EB-04</b>	1.3938	0.7417	0.0065	0.0043	0.0065		-46.7878			
	<b>EB-05</b>	2.2476	1.6020	0.0065	0.0042	0.0065		-28.7205			
	<b>EB-06</b>	2.3985	1.9636	0.0043	0.0019	0.0043		-18.1306			
	<b>EB-07</b>	0.3809	0.2936	0.0009	0.0001	0.0009		-22.9296			
	<b>EB-08</b>	2.1917	3.3825	-0.0119	0.0142	0.0119		54.3377			
	<b>EB-09</b>	2.6454	3.4422	-0.0080	0.0064	0.0080		30.1234			

	<b>EB-10</b>	2.0687	1.6361	0.0043	0.0019	0.0043		-20.9141			
<b>PA09</b>	<b>RB-01</b>	2.2071	1.6856	0.0052	0.0027	0.0052		-23.6289			
	<b>RB-02</b>	1.1733	0.5294	0.0064	0.0041	0.0064		-54.8757			
	<b>RB-03</b>	1.0815	0.6926	0.0039	0.0015	0.0039		-35.9663			
	<b>RB-04</b>	1.6085	1.3116	0.0030	0.0009	0.0030		-18.4586			
	<b>RB-05</b>	1.6513	1.0138	0.0064	0.0041	0.0064		-38.6032			
	<b>RB-06</b>	2.4975	2.5767	-0.0008	0.0001	0.0008		3.1729			
	<b>RB-07</b>	2.6599	2.0979	0.0056	0.0032	0.0056		-21.1292			
	<b>RB-08</b>	0.9638	0.4918	0.0047	0.0022	0.0047		-48.9683			
	<b>RB-09</b>	3.0970	2.5647	0.0053	0.0028	0.0053		-17.1866			
	<b>RB-10</b>	1.6651	1.2141	0.0045	0.0020	0.0045		-27.0873			
<b>PA10</b>	<b>ST-01</b>	1.2216	1.9764	-0.0075	0.0057	0.0075		61.7925			
	<b>ST-02</b>	0.6568	0.6178	0.0004	0.0000	0.0004		-5.9463			
	<b>ST-03</b>	3.7889	2.6782	0.0111	0.0123	0.0111		-29.3146			
	<b>ST-04</b>	3.2344	1.9764	0.0126	0.0158	0.0126		-38.8935			
	<b>ST-05</b>	2.0621	2.6782	-0.0062	0.0038	0.0062		29.8784			
	<b>ST-06</b>	1.9458	1.8985	0.0005	0.0000	0.0005		-2.4321			
	<b>ST-07</b>	2.1592	2.2836	-0.0012	0.0002	0.0012		5.7654			
	<b>ST-08</b>	4.1726	1.8985	0.0227	0.0517	0.0227		-54.5003			
	<b>ST-09</b>	1.5973	1.2816	0.0032	0.0010	0.0032		-19.7679			
	<b>ST-10</b>	1.8612	1.8221	0.0004	0.0000	0.0004		-2.1021			
		<b>1.6191</b>		<b>0.0644</b>	<b>36.7470</b>	<b>0.4398</b>					

**ANEXO 3. Cuantificación de Captura de Carbono del *Theobroma cacao L.* Con Redes Neuronales Artificiales y Resultados Estadísticos.**

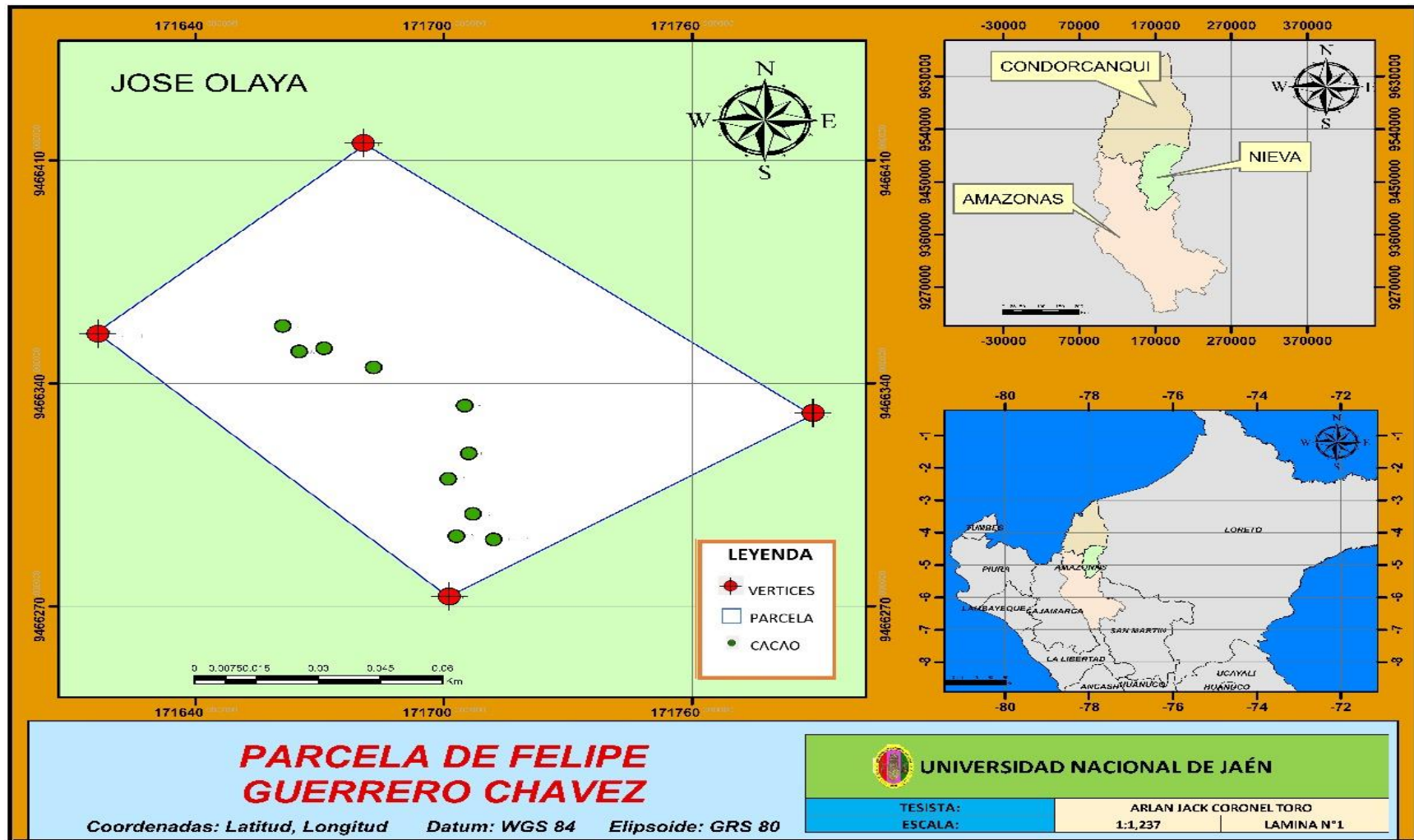
PARCELAS	CACAO	CARBONO OBSERVADO	RNA CARBONO	SESGO	RQEM	MDA	CORRELACION	RES%	CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA %
PA01	FG-01	2.4716	2.4595	0.0001	0.0000	0.0001	0.8683	-0.4892	100	0	0
	FG-02	1.5163	1.5228	-0.0001	0.0000	0.0001	0.8653	0.4305	95	0	0
	FG-03	1.9180	1.9137	0.0000	0.0000	0.0000	0.8964	-0.2204	90	0	0
	FG-04	1.0758	1.0266	0.0005	0.0000	0.0005	<b>0.9859</b>	-4.5776	85	0	0
	FG-05	1.2603	1.2683	-0.0001	0.0000	0.0001		0.6358	80	0	0
	FG-06	1.8496	1.8238	0.0003	0.0000	0.0003		-1.3955	75	0	0
	FG-07	2.6996	2.7212	-0.0002	0.0000	0.0002		0.7991	70	1	1.2658
	FG-08	1.8273	1.8338	-0.0001	0.0000	0.0001		0.3532	65	0	0
	FG-09	2.6764	2.8028	-0.0013	0.0002	0.0013		4.7235	60	0	0
	FG-10	2.3188	2.3154	0.0000	0.0000	0.0000		-0.1460	55	0	0
PA02	FT-01	0.3628	0.3866	-0.0002	0.0000	0.0002		6.5650	50	0	0
	FT-02	0.1283	0.3049	-0.0018	0.0003	0.0018		137.6027	45	0	0
	FT-03	0.1322	0.1524	-0.0002	0.0000	0.0002		15.2056	40	0	0
	FT-04	0.1734	0.1585	0.0001	0.0000	0.0001		-8.5984	35	0	0
	FT-05	0.9198	0.7832	0.0014	0.0002	0.0014		-14.8507	30	0	0
	FT-06	0.9227	0.8899	0.0003	0.0000	0.0003		-3.5462	25	0	0
	FT-07	1.4113	1.4419	-0.0003	0.0000	0.0003		2.1699	20	0	0
	FT-08	2.0300	2.0853	-0.0006	0.0000	0.0006		2.7216	15	1	1.2658
	FT-09	1.9694	1.9795	-0.0001	0.0000	0.0001		0.5129	10	3	3.7975
	FT-10	1.7899	1.8121	-0.0002	0.0000	0.0002		1.2433	5	37	46.8354
PA03	CT-01	0.5440	0.6122	-0.0007	0.0000	0.0007		12.5224	0	28	35.4430
	CT-02	1.1373	1.0932	0.0004	0.0000	0.0004		-3.8844	-5	4	5.0633
	CT-03	2.0807	2.1214	-0.0004	0.0000	0.0004		1.9558	-10	4	5.0633

	<b>CT-04</b>	2.7553	2.7589	0.0000	0.0000	0.0000		0.1322	-15	1	1.2658
	<b>CT-05</b>	1.3820	1.4426	-0.0006	0.0000	0.0006		4.3889	-20	0	0
	<b>CT-06</b>	0.9669	0.8862	0.0008	0.0001	0.0008		-8.3388	-25	0	0
	<b>CT-07</b>	0.9138	0.8889	0.0002	0.0000	0.0002		-2.7321	-30	0	0
	<b>CT-08</b>	0.7023	0.7111	-0.0001	0.0000	0.0001		1.2578	-35	0	0
	<b>CT-09</b>	0.7297	0.6945	0.0004	0.0000	0.0004		-4.8277	-40	0	0
	<b>CT-10</b>	1.8620	1.9537	-0.0009	0.0001	0.0009		4.9233	-45	0	0
<b>PA04</b>	<b>BT-01</b>	1.5184	1.5478	-0.0003	0.0000	0.0003		1.9337	-50	0	0
	<b>BT-02</b>	1.5502	1.5574	-0.0001	0.0000	0.0001		0.4641	-55	0	0
	<b>BT-03</b>	1.8379	1.8462	-0.0001	0.0000	0.0001		0.4511	-60	0	0
	<b>BT-04</b>	0.7533	0.7281	0.0003	0.0000	0.0003		-3.3474	-65	0	0
	<b>BT-05</b>	0.6228	0.6410	-0.0002	0.0000	0.0002		2.9192	-70	0	0
	<b>BT-06</b>	1.1171	1.0957	0.0002	0.0000	0.0002		-1.9202	-75	0	0
	<b>BT-07</b>	2.2526	2.2480	0.0000	0.0000	0.0000		-0.2043	-80	0	0
	<b>BT-08</b>	1.9733	2.0316	-0.0006	0.0000	0.0006		2.9538	-85	0	0
	<b>BT-09</b>	1.2130	1.1800	0.0003	0.0000	0.0003		-2.7210	-90	0	0
	<b>BT-10</b>	3.8533	3.8524	0.0000	0.0000	0.0000		-0.0250	-95	0	0
<b>PA05</b>	<b>MB-01</b>	0.9399	0.8995	0.0004	0.0000	0.0004		-4.2997	-100	0	0
	<b>MB-02</b>	1.5457	1.5702	-0.0002	0.0000	0.0002		1.5884		79	<b>100</b>
	<b>MB-03</b>	1.8550	1.8723	-0.0002	0.0000	0.0002		0.9318			
	<b>MB-04</b>	1.3235	1.2446	0.0008	0.0001	0.0008		-5.9565			
	<b>MB-05</b>	2.6465	2.6287	0.0002	0.0000	0.0002		-0.6723			
	<b>MB-06</b>	1.5693	1.5388	0.0003	0.0000	0.0003		-1.9385			
	<b>MB-07</b>	2.2627	2.2849	-0.0002	0.0000	0.0002		0.9817			
	<b>MB-08</b>	1.7267	1.7446	-0.0002	0.0000	0.0002		1.0316			
	<b>MB-09</b>	2.2242	2.2249	0.0000	0.0000	0.0000		0.0278			
	<b>MB-10</b>	1.9923	2.0138	-0.0002	0.0000	0.0002		1.0782			
<b>PA06</b>	<b>IG-01</b>	0.9136	0.9201	-0.0001	0.0000	0.0001		0.7183			

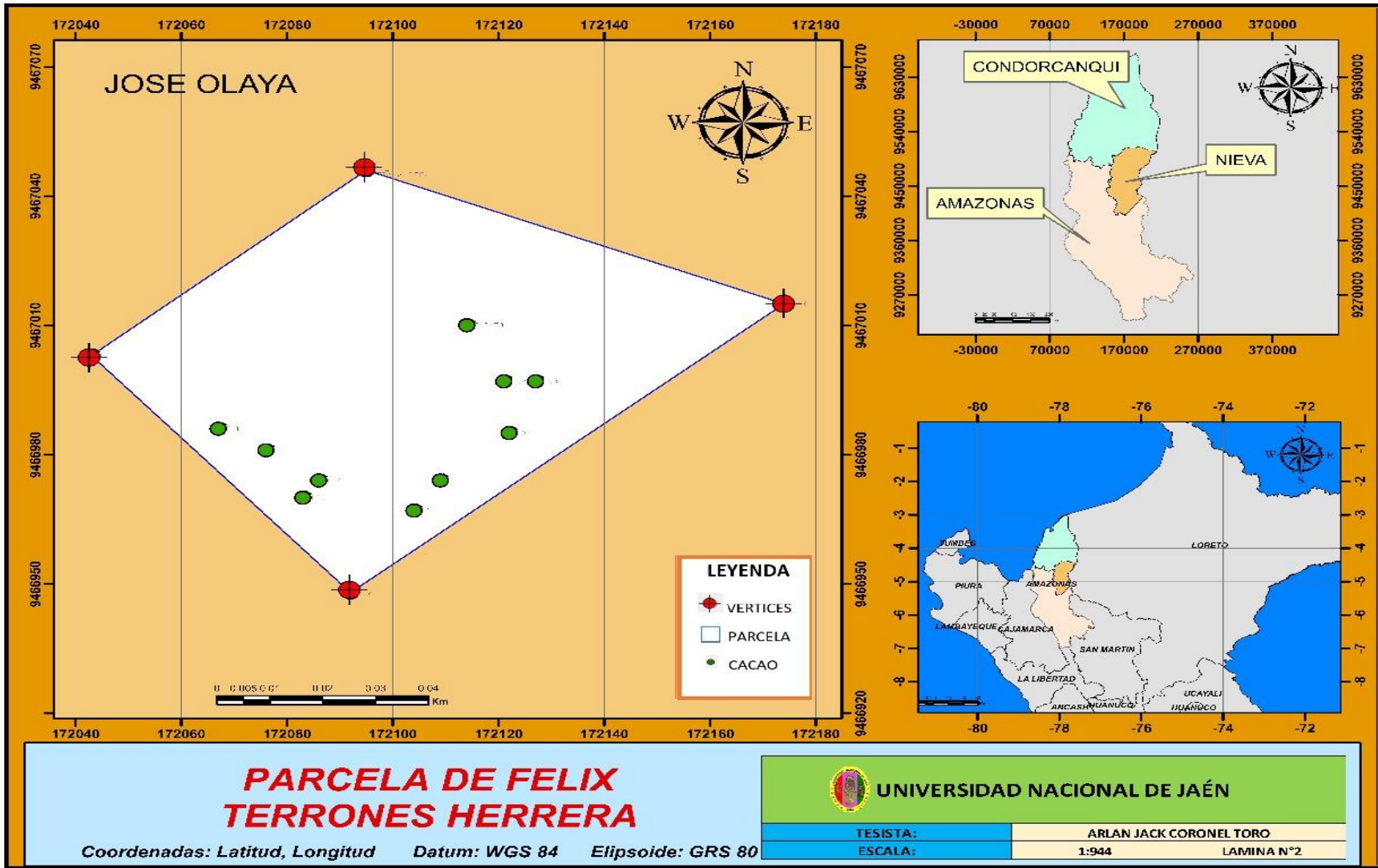
	<b>IG-02</b>	0.6961	0.6681	0.0003	0.0000	0.0003		-4.0177			
	<b>IG-03</b>	1.0138	1.0350	-0.0002	0.0000	0.0002		2.0941			
	<b>IG-04</b>	0.7055	0.7090	0.0000	0.0000	0.0000		0.5044			
	<b>IG-05</b>	1.4908	1.5057	-0.0001	0.0000	0.0001		1.0039			
	<b>IG-06</b>	2.0806	2.0702	0.0001	0.0000	0.0001		-0.4984			
	<b>IG-07</b>	1.6850	1.6811	0.0000	0.0000	0.0000		-0.2317			
	<b>IG-08</b>	1.1177	1.1089	0.0001	0.0000	0.0001		-0.7888			
	<b>IG-09</b>	4.2711	3.8236	0.0045	0.0020	0.0045		-10.4786			
	<b>IG-10</b>	3.7910	3.3557	0.0044	0.0019	0.0044		-11.4847			
	<b>PA07</b>	<b>MC-01</b>	1.0171	1.1129	-0.0010	0.0001	0.0010		9.4223		
<b>MC-02</b>		0.6732	0.5587	0.0011	0.0001	0.0011		-17.0060			
<b>MC-03</b>		0.4066	0.3806	0.0003	0.0000	0.0003		-6.3839			
<b>MC-04</b>		0.3274	0.2815	0.0005	0.0000	0.0005		-14.0209			
<b>MC-05</b>		0.4142	0.3724	0.0004	0.0000	0.0004		-10.0957			
<b>MC-06</b>		0.3747	0.3691	0.0001	0.0000	0.0001		-1.4935			
<b>MC-07</b>		0.1656	0.2748	-0.0011	0.0001	0.0011		65.9716			
<b>MC-08</b>		0.4667	0.4516	0.0002	0.0000	0.0002		-3.2269			
<b>MC-09</b>		0.1160	0.2616	-0.0015	0.0002	0.0015		125.4660			
<b>MC-10</b>		0.1268	0.2742	-0.0015	0.0002	0.0015		116.2693			
<b>PA08</b>	<b>EB-01</b>	2.4219	2.4583	-0.0004	0.0000	0.0004		1.5016			
	<b>EB-02</b>	3.3203	3.2201	0.0010	0.0001	0.0010		-3.0165			
	<b>EB-03</b>	2.3825	2.4055	-0.0002	0.0000	0.0002		0.9649			
	<b>EB-04</b>	1.3938	1.3432	0.0005	0.0000	0.0005		-3.6282			
	<b>EB-05</b>	2.2476	2.2671	-0.0002	0.0000	0.0002		0.8699			
	<b>EB-06</b>	2.3985	2.4536	-0.0006	0.0000	0.0006		2.2966			
	<b>EB-07</b>	0.3809	0.3797	0.0000	0.0000	0.0000		-0.3026			
	<b>EB-08</b>	2.1917	2.1570	0.0003	0.0000	0.0003		-1.5816			
	<b>EB-09</b>	2.6454	2.5491	0.0010	0.0001	0.0010		-3.6388			

	<b>EB-10</b>	2.0687	2.1187	-0.0005	0.0000	0.0005		2.4163			
<b>PA09</b>	<b>RB-01</b>	2.2071	2.3683	-0.0016	0.0003	0.0016		7.3044			
	<b>RB-02</b>	1.1733	1.1507	0.0002	0.0000	0.0002		-1.9208			
	<b>RB-03</b>	1.0815	1.0902	-0.0001	0.0000	0.0001		0.7998			
	<b>RB-04</b>	1.6085	1.6142	-0.0001	0.0000	0.0001		0.3503			
	<b>RB-05</b>	1.6513	1.6644	-0.0001	0.0000	0.0001		0.7965			
	<b>RB-06</b>	2.4975	2.4883	0.0001	0.0000	0.0001		-0.3659			
	<b>RB-07</b>	2.6599	2.6423	0.0002	0.0000	0.0002		-0.6594			
	<b>RB-08</b>	0.9638	0.9473	0.0002	0.0000	0.0002		-1.7071			
	<b>RB-09</b>	3.0970	3.1128	-0.0002	0.0000	0.0002		0.5090			
	<b>RB-10</b>	1.6651	1.7011	-0.0004	0.0000	0.0004		2.1615			
<b>PA10</b>	<b>ST-01</b>	1.2216	1.1588	0.0006	0.0000	0.0006		-5.1360			
	<b>ST-02</b>	0.6568	0.6786	-0.0002	0.0000	0.0002		3.3096			
	<b>ST-03</b>	3.7889	3.7940	-0.0001	0.0000	0.0001		0.1335			
	<b>ST-04</b>	3.2344	3.4911	-0.0026	0.0007	0.0026		7.9344			
	<b>ST-05</b>	2.0621	2.1111	-0.0005	0.0000	0.0005		2.3771			
	<b>ST-06</b>	1.9458	2.0103	-0.0006	0.0000	0.0006		3.3110			
	<b>ST-07</b>	2.1592	2.2373	-0.0008	0.0001	0.0008		3.6176			
	<b>ST-08</b>	4.1726	4.1494	0.0002	0.0000	0.0002		-0.5540			
	<b>ST-09</b>	1.5973	1.5832	0.0001	0.0000	0.0001		-0.8816			
	<b>ST-10</b>	1.8612	1.9113	-0.0005	0.0000	0.0005		2.6919			
		<b>1.6191</b>		<b>-0.0015</b>	<b>5.3238</b>	<b>0.0485</b>					

Anexo 4. Mapas de ubicación de la dispersión de los árboles de *Theobroma cacao* L. en cada parcela de Evaluación.

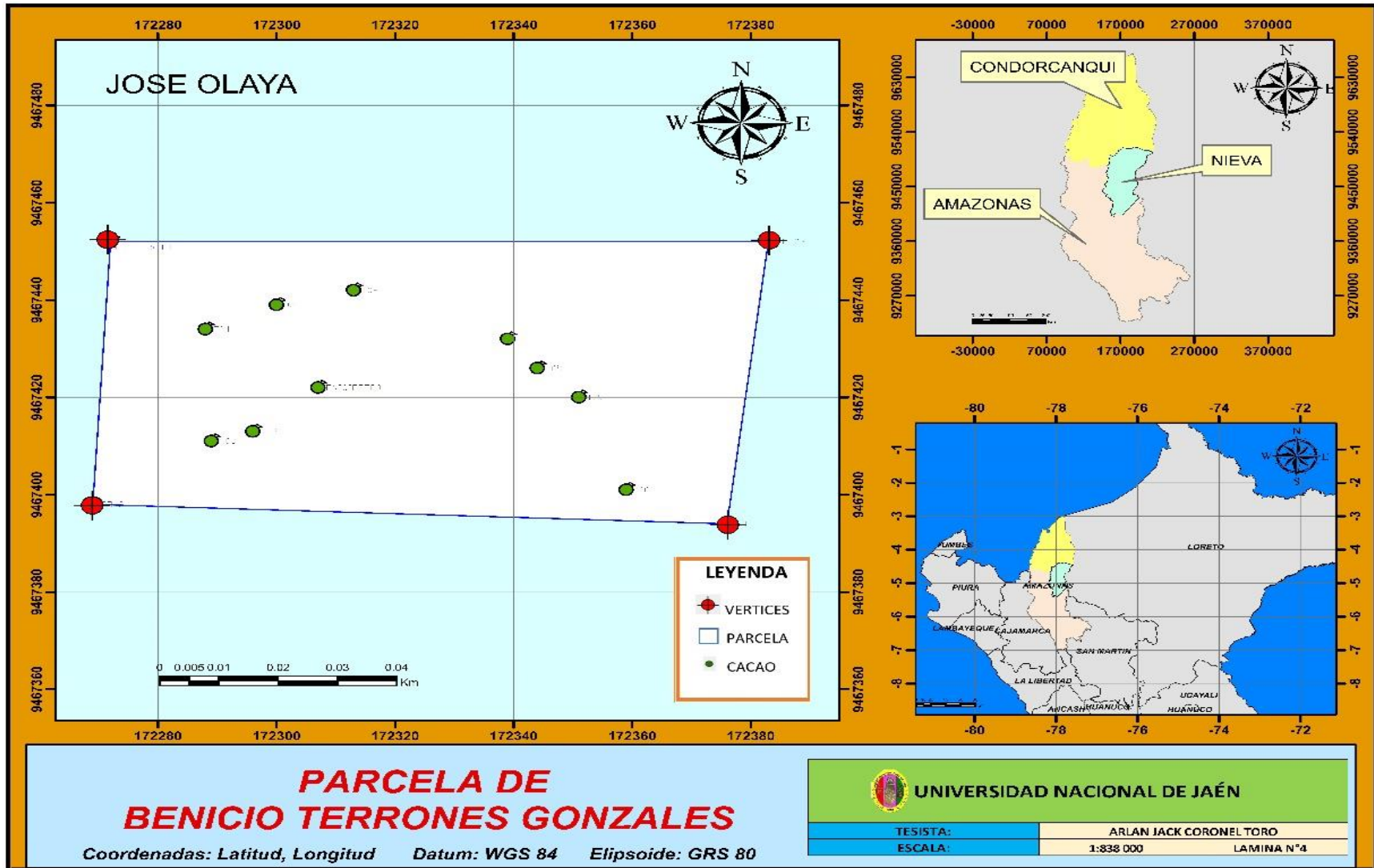


MAPA 1. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA01".

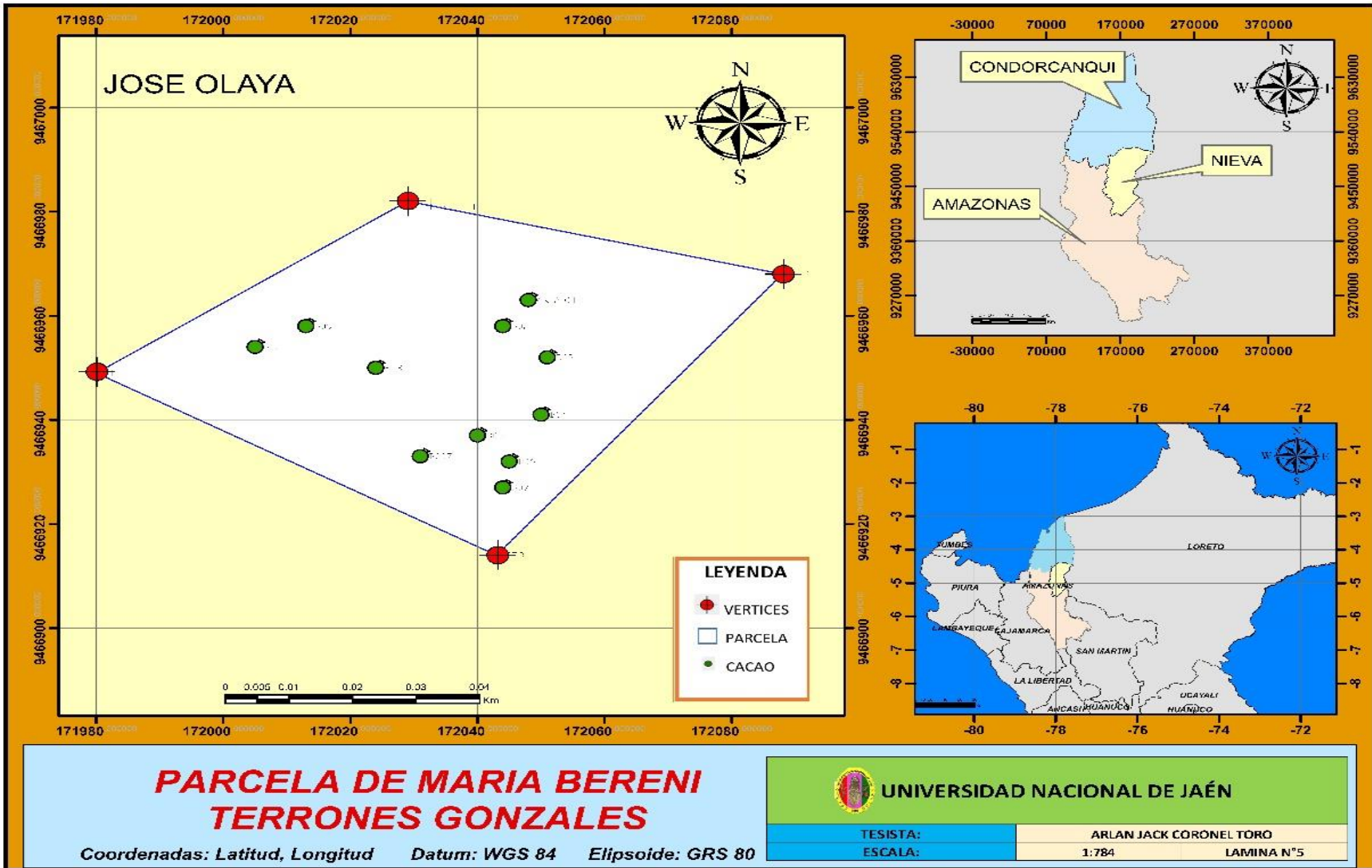


MAPA 2. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA02".

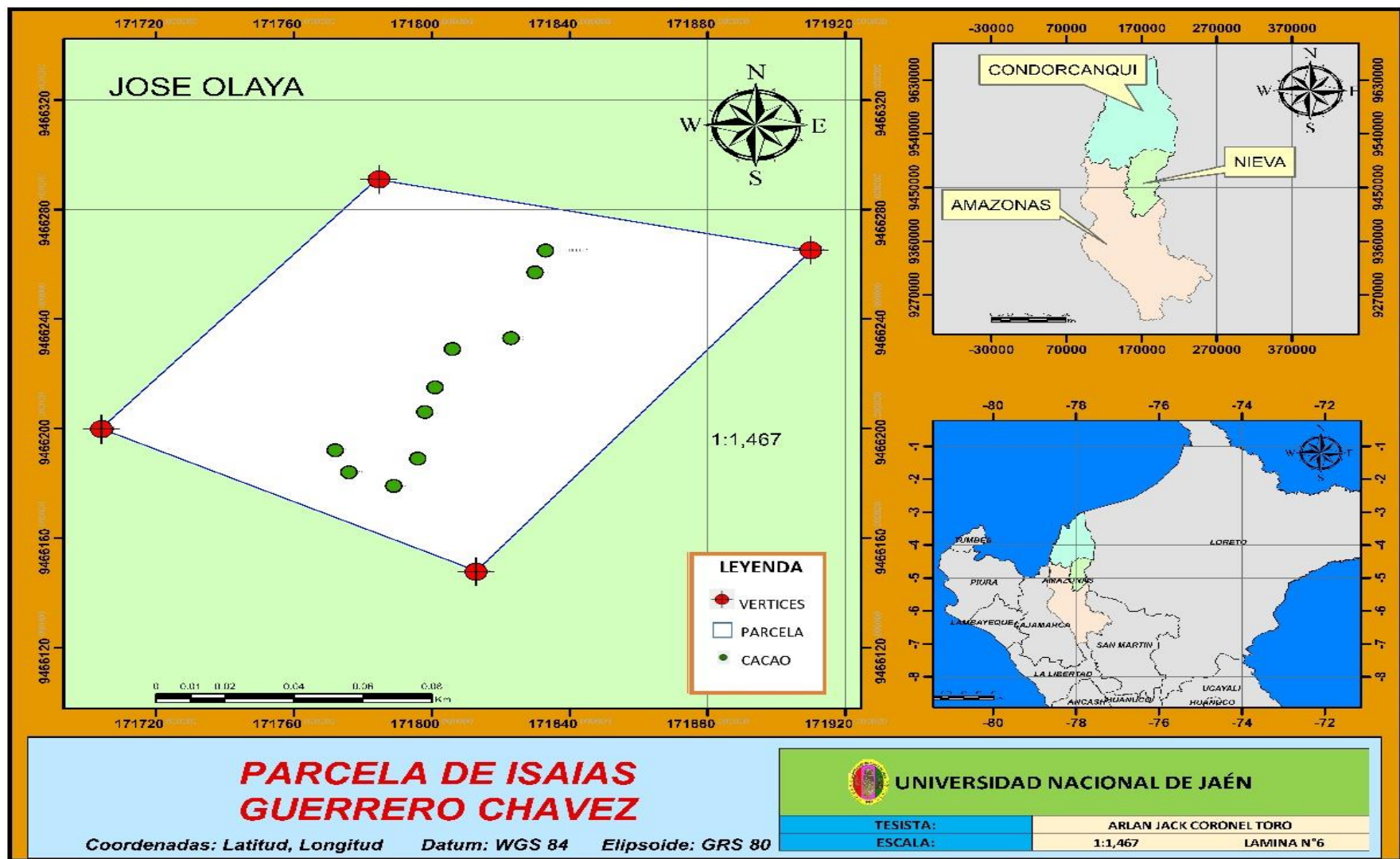




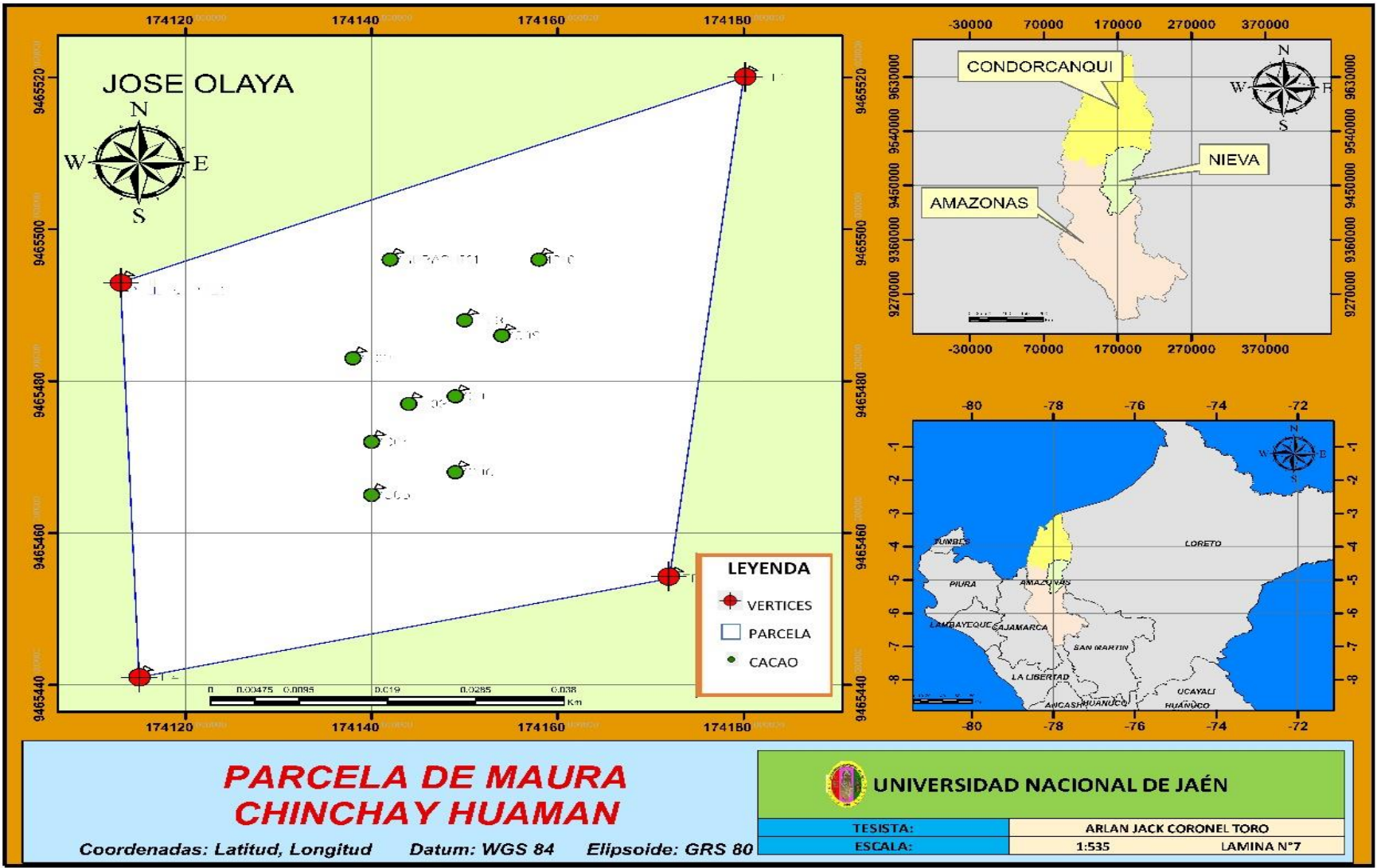
MAPA 4. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA04”.



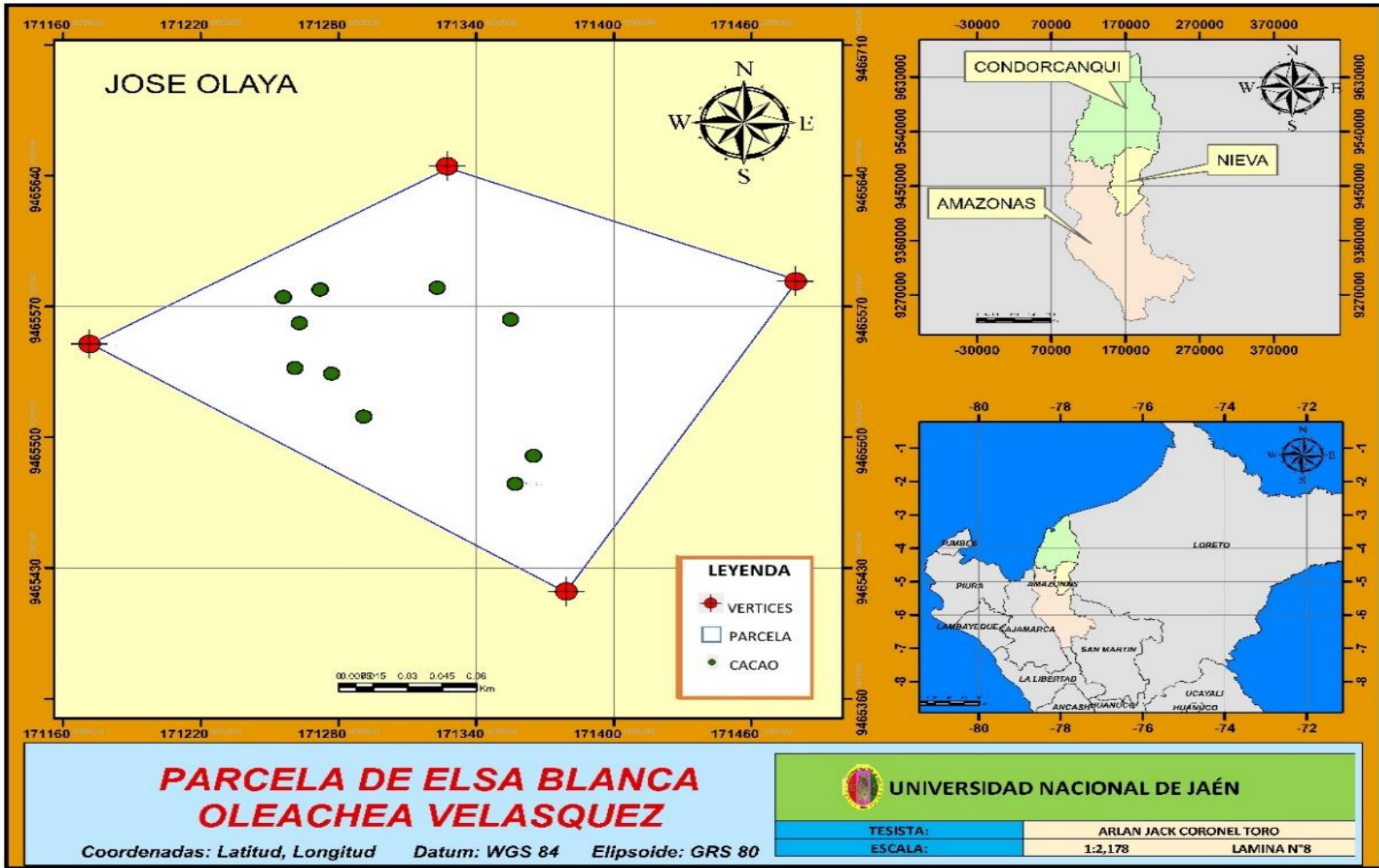
MAPA 5. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA05”.



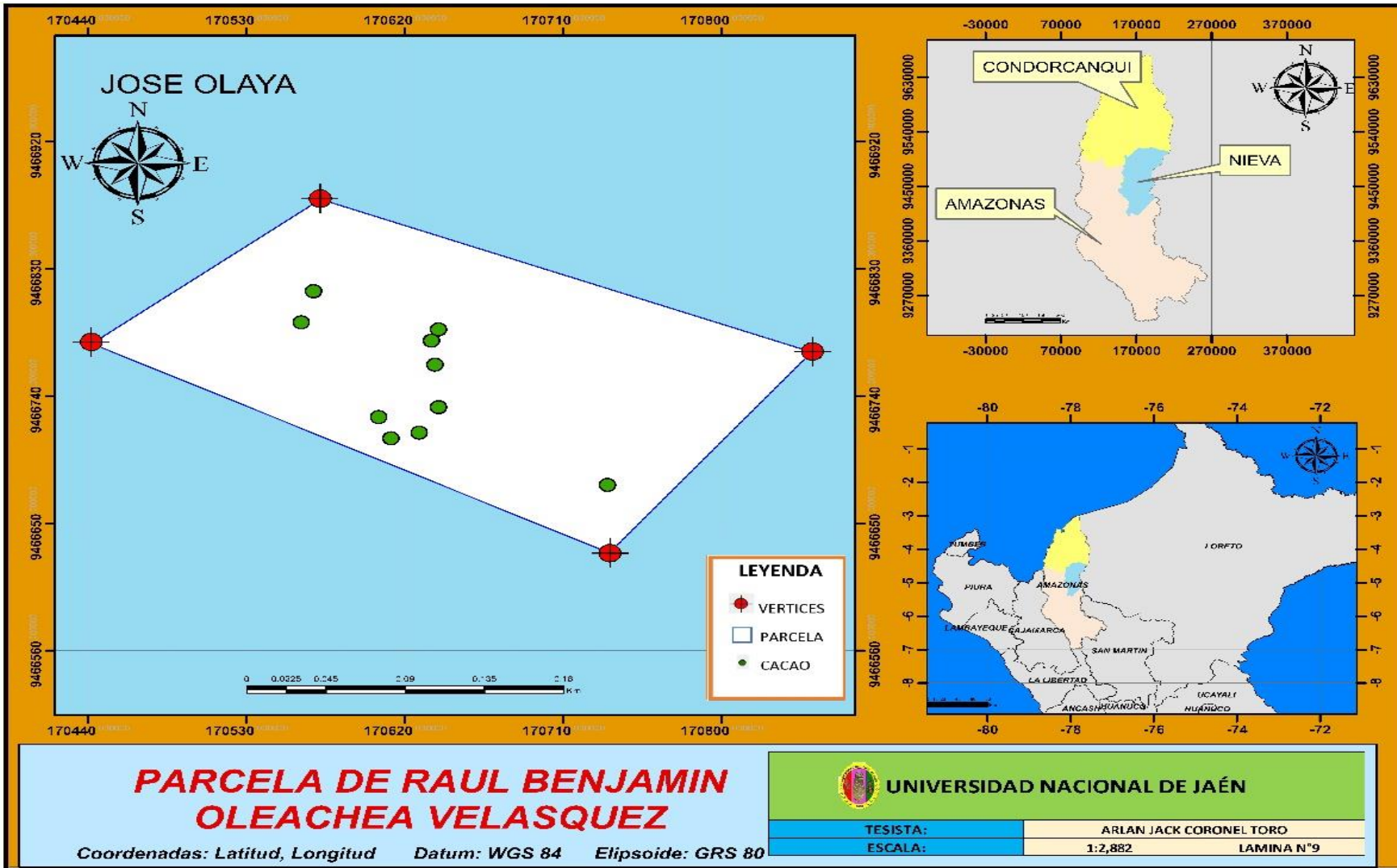
MAPA 6. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA06”.



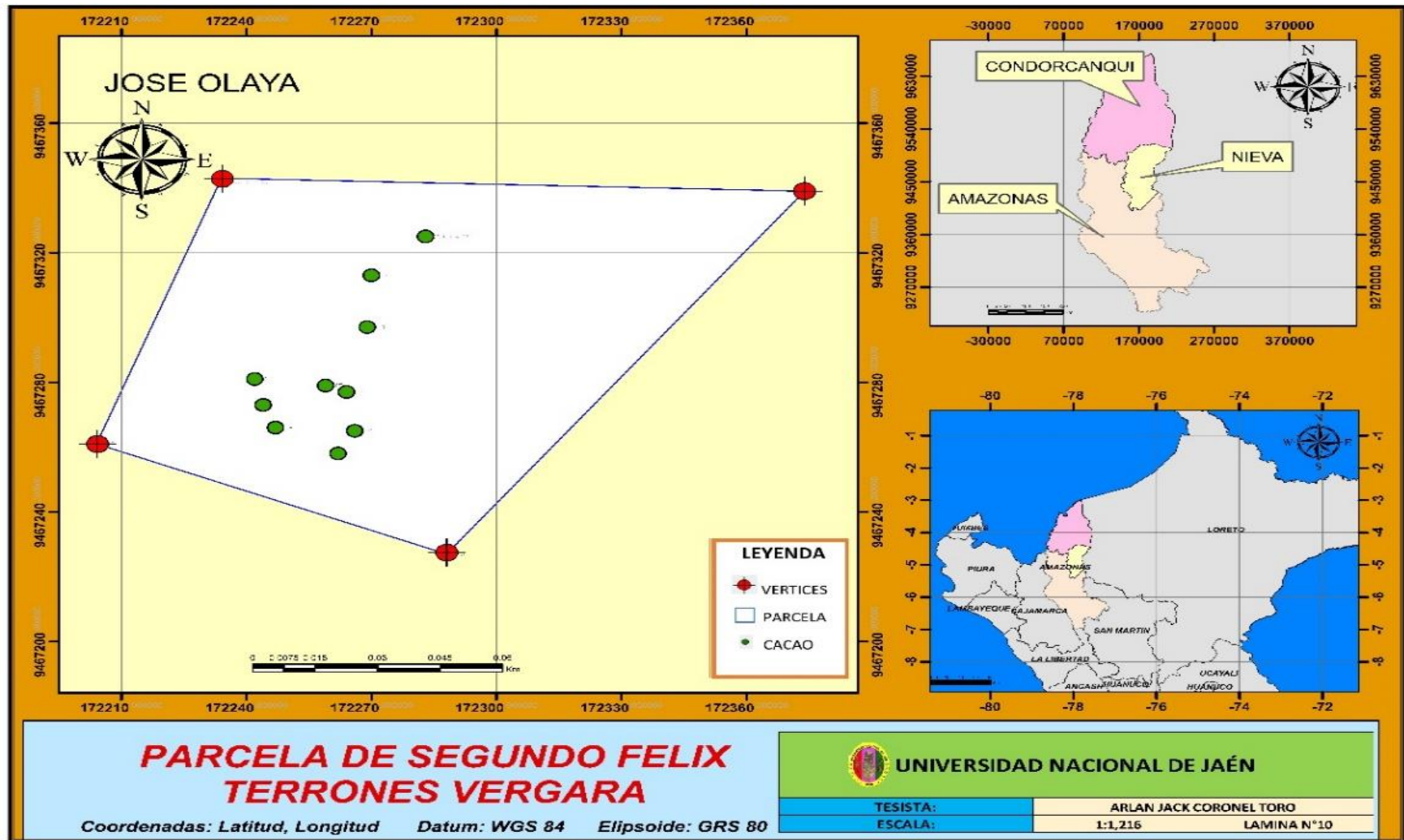
MAPA 7. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA07".



MAPA 8. .Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA08”.



MAPA 9. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA09”



MAPA 10. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA10”.

## **ANEXO 5. PANEL FOTOGRÁFICO.**



**Foto 1. Georreferenciación de los árboles de Cacao.**



**Foto 2. Medición de la circunferencia del fuste del Cacao.**



**Foto 3. Manejo del Barreno de Pressler.**



**Foto 4.Extracción de muestras con el Barreno de Pressler.**



**Foto 5. Sellado del orificio de extracción con Parafina.**



**Foto 6. Charlas del proyecto de investigación a los Agricultores de las parcelas de Cacao.**



**Foto 7. Muestras extraídas de Cacao.**



**Foto 8. Medición de las muestras de Cacao en el Laboratorio de IFA-UNJ.**



**Foto 9. Pesado de las muestras de Cacao en la Balanza de Precisión del laboratorio de IFA-UNJ.**



**Foto 10. Secado de las muestras en la estufa del laboratorio de IFA-UNJ.**