

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

FILIAL JAÉN



**CUANTIFICACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO DEL
FUSTE DE *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken CON
REDES NEURONALES ARTIFICIALES DEL DISTRITO Y
PROVINCIA DE JAÉN - CAJAMARCA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

WILDER CIEZA REQUEJO

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado

ASESOR

Jaén – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de Febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL SECCIÓN JAÉN

Bolívar N° 1342 – Plaza de Armas – Telfs. 431907 - 431080
JAÉN – PERÚ

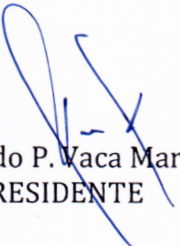



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

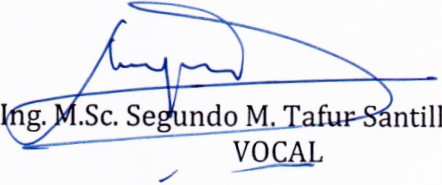
En la ciudad de Jaén, a los veintiún días del mes de Diciembre del año dos mil dieciocho, se reunieron en el Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 109- 2018-FCA-UNC, de fecha 16 de Abril de 2018, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado **“CUANTIFICACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO DEL FUSTE DE *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE JAÉN – CAJAMARCA”**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales **don WILDER CIEZA REQUEJO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

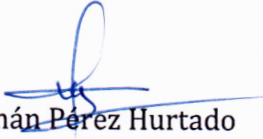
A las nueve horas y cincuenta minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Terminado el acto de sustentación el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **CATORCE (14)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las diez horas y cuarenta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.


Dr. Segundo P. Vaca Marquina
PRESIDENTE


Ing. Leiver Flores Flores
SECRETARIO


Ing. M.Sc. Segundo M. Tafur Santillán
VOCAL


Ing. Germán Pérez Hurtado
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico esta investigación principalmente a Dios, nuestro creador y legado de toda sabiduría, por iluminarme y acompañarme en todo momento de mi vida.

A mis amados padres Bertila Requejo y Celso Cieza por su constante ejemplo de integridad, esfuerzo y dedicación en mi formación personal.

A todos mis hermanos, por motivar en mí siempre deseos de superación en todos los aspectos de la vida.

A todos los docentes, por contribuir con todos sus conocimientos hacia mí persona en toda mi formación académica.

A todas las personas que dedican su energía y tiempo para hacer que nuestros recursos forestales tengan un mejor valor cada día.

Esta dedicatoria es para ustedes.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A la Universidad Nacional de Cajamarca, Sede Jaén, por mi formación académica a nivel de pre-grado.

A los Profesores Segundo Vaca, Fernando Aguirre, Vitoly Becerra, Leiwer Flores, Segundo Tafur y Germán Pérez por su profesionalismo, entrega y toda la orientación brindada.

A mis padres y hermanos por contribuir en todos los aspectos de mi formación profesional.

Al Ing. Gianmarco Goycochea por la entrega de grandes aportes en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al M. Sc. Germán Pérez por el asesoramiento y las facilidades brindadas en la ejecución del presente proyecto.

Al personal docente de la Escuela Académico profesional de Ingeniería Forestal de la UNC – SEDE JAEN por contribuir con mi formación académica y personal, inculcándome siempre el amor por nuestra profesión.

¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. Dióxido de carbono y cambio climático	14
2.2.2. Biomasa en los ecosistemas.....	15
2.2.3. Definición de volumen.....	15
2.2.4. Métodos para la determinación directa del volumen en árboles individuales	16
a. Método analítico.....	17
2.2.5. Ciclo de carbono en ecosistemas forestales.....	17
a. Carbono almacenado.....	18
b. Carbono fijado.....	18
2.2.6. Dióxido de carbono (CO ₂) y su rol en el efecto de invernadero	18
2.2.7. Captura y almacenamiento de carbono	20
2.2.8. Los bosques en las existencias mundiales de carbono	21
2.2.9. Métodos para secuestrar carbono.....	22
a. Biomasa de los componentes leñosos	22
2.2.10. Café como sistema agroforestal	25
2.2.11. Densidad de la madera	27
2.2.12. Redes neuronales artificiales (RNA)	28
a. Función de activación de una red neuronal artificial	30
b. Clasificación de una red neuronal artificial.....	31
c. Algoritmo de las redes neuronales artificiales.....	31
d. Funcionalidad de las redes neuronales	32
e. Aplicaciones generales de la RNA en la ingeniería forestal	34
2.2.13. Especie de <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavón) Oken.....	36

2.2.14. NeuroForest.....	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Ubicación geográfica	38
3.2. MATERIALES.....	43
3.2.1. Material biológico	43
3.2.2. Material y equipo de campo	43
3.2.3. Material y equipo de gabinete e informático.....	43
3.3. METODOLOGÍA.....	43
3.3.1. Trabajo de campo	43
a) Muestreo y extracción de cuerpos de prueba	43
3.3.2. Trabajo de gabinete	44
a) Determinación de la densidad de la madera.....	44
b) Cálculo del volumen del cuerpo de prueba.....	44
c) Cálculo del volumen en pie de los árboles.....	44
d) Cálculo de la biomasa del fuste de los árboles	45
e) Cuantificación de captura de carbono.....	45
f) Redes neuronales artificiales	46
g) Análisis estadístico	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Resultados.....	47
4.1.1. Densidad de la madera	47
4.1.2. Volumen en pie de los árboles	47
4.1.3. Biomasa y captura de carbono del fuste de los árboles.....	48
4.1.4. Resultado estadístico	49
4.2. Discusiones	50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones	53
5.2. Recomendaciones.....	54
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Densidad media, biomasa fustal y edad del laurel	47
Tabla 2. Número de árboles y volumen en pie del laurel	48
Tabla 3. Captura de carbono del fuste de los árboles de laurel	49
Tabla 4. Inventario de los árboles de <i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pavón) Oken en cada parcela de evaluación y la cuantificación de la captura de carbono observado y estimado.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de una neurona biológica.....	29
Figura 2. Estructura de una red neuronal artificial.....	30
Figura 3. Principales funciones de activación en las redes neuronales artificiales.....	30
Figura 4. Conexiones de redes feedforward y feedback	31
Figura 5. Proceso de funcionalidad matemática de una red neuronal artificial	32
Figura 6. Procedimiento general computarizado de la construcción de una red neuronal artificial	33
Figura 7. Aplicación de redes neuronales artificiales en los sistemas de información geográfica	35
Figura 8. Aplicación de redes neuronales artificiales en las estimaciones de volumen.....	35
Figura 9. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA01”	38
Figura 10. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA02”	39
Figura 11. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA03”	40
Figura 12. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA04”	41
Figura 13. Mapa de dispersión de especies de la parcela “PA05”	42
Figura 14. Correlación de la captura de carbono observado y estimado	50
Figura 15. Medición de altura de árboles de laurel.....	75
Figura 16. Georreferenciación de los árboles de laurel.....	75
Figura 17. Apunte de datos de mediciones dasométricas.....	75
Figura 18. Medición de la circunferencia del fuste de laurel.....	75
Figura 19. Extracción de muestras de madera del fuste de los árboles de laurel	76
Figura 20. Extracción de muestras con el barreno de Pressler	76
Figura 21. Manejo del barreno de Pressler	76
Figura 22. Manejo del barreno de Pressler	76
Figura 23. Balanza analítica utilizada para pesado de muestras	77
Figura 24. Proceso de pesado de muestras.....	77
Figura 25. Proceso de medición de muestras	77
Figura 26. Medición y toma de datos de cada una de las muestras.....	77

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la masa de dióxido de carbono capturado del fuste de poblaciones de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken con redes neuronales artificiales en el distrito y provincia de Jaén, Región Cajamarca, aplicando técnicas de modelación matemática con sistemas computacionales para la proyección por hectárea de captura de dióxido de carbono. Se estableció cinco parcelas agroforestales, realizándose un inventario al 100% considerando las variables de DAP y altura total. Para determinar la densidad media de la madera se extrajeron muestras internas de fustales con barrenos de Pressler considerando una muestra de 50 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 captura de carbono de los árboles, para posteriormente entrenar y generalizar las estimaciones y proyecciones con la técnica de redes neuronales artificiales utilizando el software Neuroforest® (versión 3.3); obteniendo como resultado que la captura de carbono en árboles de todas las parcelas evaluadas fue de 22.3484 Tm carbono con una biomasa total de 44.6969 t, donde la parcela PA02 presenta mayor cantidad de captura de carbono proyectado a una hectárea con 8.3655 Tm C/ha.

Palabras clave: Captura de dióxido de carbono, redes neuronales artificiales, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the mass of carbon dioxide captured from the stem of the populations of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken by means of artificial neural networks, in the district and province of Jaen, Cajamarca region, applying mathematical modeling techniques with computer systems for the projection per hectare of carbon dioxide capture activity. Five agroforestry plots were established, where was implemented a 100 % inventory, taking into account variables as DBH and total height. To determine the density of the wood, internal samples of saplings were extracted using a Pressler borer considering a sample of 50 test bodies for all evaluation plots. From the data obtained in the field, were calculated the standing volume, biomass of stem and the carbon capture quantification of trees, later was trained and generalized the estimates and projections with the artificial neural network using the software Neuroforest ® (version 3.3); obtaining as a result that the carbon capture in the trees of all the evaluated plots was 22.3484 metric tons of carbon with a total biomass of 44.6969 tons, the plot PA02 presents the highest amount of carbon capture projected to a hectare with 8.3655 metric tons of carbon per hectare.

Key words: carbon dioxide capture, artificial neural networks, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken.

I. INTRODUCCIÓN

Existe gran preocupación en el ámbito mundial por el aumento acelerado de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, considerados los causantes del cambio climático. Los GEI con mayor efecto proporcional en el calentamiento global es el dióxido de carbono (CO_2); responsable de más de la mitad de este fenómeno (Vélez 2001) y que cerca de un 20 % de las emisiones de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales (Schlegel 2001) de hecho, la reducción de estas emisiones, derivadas de la deforestación y la degradación forestal, tal como la conservación de las reservas forestales de carbono, el manejo sostenible de los bosques y el incremento de las reservas forestales de carbono, emprenden, de forma voluntaria, actividades que reducen los GEI y que incrementen los sumideros de carbono en el sector forestal (Sandker et al. 2015).

Las especies vegetales, como un medio importante para captar y almacenar el carbono, ha sido reconocida ampliamente en la producción agrícola y forestal y fue aprobada como una estrategia importante de mitigación del cambio climático (Nair et al. 2009).

Específicamente en el sector forestal, los modelos matemáticos son utilizados en el planeamiento de las actividades forestales, en donde el desenvolvimiento y ajuste de los modelos de estimación de biomas se viene formando en una necesidad, debido al gran interés con la relación a la captura de carbono (Chiari et al. 2008).

El carbono almacenado de una plantación depende de la producción neta, que asegura una concentración promedio de alrededor de 50 %, cuando el tiempo de residencia del carbono en el tejido vegetal es largo, éste influye a un proceso de captura de carbono, el cual contribuye a mitigar los efectos de calentamiento global (Schlesinger 1997) citado por (Escalona 2007), donde a partir de una muestra de árboles se pueden evaluar reservas de carbono que permitan desarrollar funciones para la predicción y pronóstico de captura de carbono (Joosten et al. 2004).

En la provincia de Jaén de la región de Cajamarca, se han propagado especies maderables con fines de sombra para café, siendo la más utilizada la especie de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken, que es aprovechado por el productor por su valor comercial, dándole usos para el sector de mueblería y construcción, sin embargo, hasta el momento se desconoce sus características internas de la especie, teniendo en cuenta que la especie está asociado al cultivo de café, bajo sistemas agroforestales.

El presente proyecto de investigación establece información específica del potencial de captura de carbono en la biomasa del fuste de la especie de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken, la cual es una de las especies más abundantes en la provincia de Jaén en áreas reforestadas, asociando técnicas de modelaciones existentes con sistemas computacionales de la inteligencia artificial de redes neuronales artificiales.

El objetivo de la investigación fue determinar la masa del carbono capturado en el fuste de poblaciones de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken con redes neuronales artificiales en el distrito y provincia de Jaén de la región Cajamarca, y los objetivos específicos fueron:

- Aplicar técnicas de modelación matemática con sistemas computacionales en la ingeniería forestal para la proyección por hectárea de captura de dióxido de carbono del fuste de una población de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken.
- Establecer análisis estadístico aplicado a los sistemas computacionales de inteligencia artificial.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

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 CO₂, 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 et al. 2011).

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 et al. 2000, Haykin 2001, Binoti 2010). 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 backpropagation” (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 (Alcántara 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 la estimación de la densidad en muestras pequeñas de madera, que tienen forma geométrica regular.

Existen diversos estudios en la especie de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken con modelaciones tradicionales, tal es el caso que el intercambio gaseoso de asimilación máxima es de $14 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^2/\text{s}$ (Castaño 2014). Somarriba (2008), evalúa la cantidad de carbono por regeneración natural indicando que 50-55 árboles/ha., que contienen 3,13 – 7,28 Tm/ha de carbono en pie.

Guerrero (2006), estudia el almacenamiento y fijación de carbono total en un sistema agroforestal utilizando modelos lineales y no lineales para predecir el crecimiento en diámetro llegando a concluir que la cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal fue de 126.4 Tm C/ha, y 114.5 Tm C/ha, respectivamente en los lugares que se evaluaron; bajo este mismo sistema Del Pilar (2016), hace una comparación entre sistemas frutales y maderables indicando que el almacenamiento de carbono es de 61 Tm C/ha, entre ambos sistemas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Dióxido de carbono y cambio climático

Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera son afectadas principalmente por dos procesos antropogénicos: emisión de CO₂ por el consumo de combustión fósil y por cambios en uso de suelo causado por deforestación. La concentración atmosférica de CO₂ 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 CO₂ 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 y Skole 1990).

2.2.2. Biomasa en los ecosistemas

La biomasa de una comunidad de plantas se define como su masa seca total, considerándose dentro de ésta, 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 CO₂ 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 CO₂ (Brown 1997).

2.2.3. Definición de volumen

El volumen por unidad muestral se obtiene a partir de los árboles medidos y se expande a la unidad de superficie utilizando el factor de expansión definido por el tamaño de la unidad muestral. La determinación del volumen puede realizarse árbol por árbol o agrupando los árboles en clases de tamaño basadas en el diámetro (clases de diámetro). Los resultados se presentan en forma de Tabla de rodal y existencia (Burkhart 1977).

El volumen es la medida de la cantidad de madera sólida más ampliamente utilizada. En el árbol individual pueden identificarse diferentes categorías de volumen. El árbol completo, esto es considerando todos los componentes, constituye el volumen total; todos aquellos componentes cuyas dimensiones son aceptables para

el mercado constituyen el volumen comercial; el volumen de desechos está conformado por secciones maderables del árbol que presentan defectos y dimensiones menores o no comerciales; también existe la denominación de volumen bruto, cuando se estima el volumen total hasta un diámetro comercial (dlu: diámetro límite de utilización) incluyendo defectos; desde este último, descontados los defectos, se obtiene el volumen neto. Esos volúmenes pueden expresarse con o sin corteza. La medición directa de cualquiera de los volúmenes mencionados en el párrafo anterior es difícil de realizar directamente en árboles en pie. Así, la cubicación normalmente se realiza mediante métodos indirectos. Esto consiste en estimar el volumen del árbol a partir de variables de más fácil medición como el dap, la altura y la forma del fuste utilizando una función de volumen. La construcción y validación de una función de volumen requiere determinar directamente el volumen en un número suficiente de árboles, a partir de mediciones intensivas del diámetro y corteza a lo largo del fuste o por medio de metodologías que implican el uso de implementación costosa (Burkhart 1977).

2.2.4. Métodos para la determinación directa del volumen en árboles individuales

La determinación directa del volumen en árboles individuales es una tarea laboriosa que consume habitualmente mucho tiempo. Es una labor necesaria para el desarrollo de relaciones funcionales de volumen. A partir de una muestra de árboles, en los que se ha obtenido directamente el volumen y otras variables auxiliares fáciles de medir, se ajustan relaciones entre el volumen y las variables auxiliares. Esas relaciones se utilizan para estimar el volumen en otros árboles a partir de las variables de fácil medición. La determinación directa del volumen se realiza mediante métodos analíticos, gráficos o por desplazamiento de líquidos (Cao et al. 1980).

a. Método analítico

Este método asume que la forma del fuste del árbol, ya sea como un todo o por secciones, es semejante a sólidos geométricos básicos (cilindro, paraboloides, cono o neiloide) o troncos de estos sólidos. El volumen de esos sólidos se obtiene mediante fórmulas específicas, las que a su vez se utilizan para la cubicación de árboles y trozas. El desarrollo de esas fórmulas se describe a continuación. Se emplean las fórmulas de Smalian, Huber y Newton. Las fórmulas de volumen se utilizan normalmente para la cubicación de secciones de árboles. Para ello se realizan mediciones de diámetro lo largo del fuste. La cubicación se realiza sección tras sección, quedando cada sección definida entre dos mediciones sucesivas en el caso de utilizar la fórmula de Smalian. En la cubicación mediante la fórmula de Huber se utiliza cada medición, tomando como longitud de troza la distancia entre los puntos medios entre mediciones. La fórmula de Newton requiere definir las secciones en base a tres mediciones sucesivas, las cuales deben realizarse a intervalos uniformes. El volumen total o de una fracción del fuste del árbol se obtiene sumando los volúmenes obtenidos de las secciones. La precisión de las fórmulas obtenidas por el método analítico depende del grado de cercanía entre la forma real de la sección del árbol y la ideal asumida por el sólido de referencia. Así, la precisión depende, por un lado, de la sección del árbol donde se utilice una fórmula determinada y, por otro, de la distancia entre las mediciones de diámetro realizadas en el fuste. Mientras mayor es la distancia, menor es la precisión de las fórmulas (Cao et al. 1980).

2.2.5. Ciclo de carbono en ecosistemas forestales

El ciclo del Carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico (CO_2) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO_2 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 CO₂ así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. 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 CO₂ y regrese a la atmósfera (Ordoñez 1999).

a. 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).

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).

b. 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).

2.2.6. Dióxido de carbono (CO₂) y su rol en el efecto de invernadero

El CO₂ es considerado uno de los gases de mayor influencia en el efecto invernadero, se considera necesario e importante conocer un poco

acerca del comportamiento del carbono en la superficie de la tierra y su papel en la atmósfera, la cual de forma resumida parte del ciclo del carbono.

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo los sistemas de agua dulce), los océanos y los sedimentos (incluso los sedimentos fósiles). Estos depósitos son fuentes que cumplen la opción de liberar el carbono, o de ser sumideros que absorben carbono de otra parte del ciclo (Ciesla 1996).

Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Molina et al. 2002). En general, las plantas verdes absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis, para transformarlos en elementos de importancia para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. El carbono, se deposita en el follaje, tallos y sistema radicular y principalmente en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (CO₂).

La emisión antropológica del carbono en la atmósfera perturba el equilibrio del ciclo del carbono y contribuye a la acumulación de 3.4 mil millones de toneladas de carbono por año en la atmósfera, lo que representa un crecimiento en la tasa de carbono atmosférico en el orden de 0.5 % por año (Locatelli 1999).

El estudio del ciclo del carbono es importante para el entendimiento de su papel en el crecimiento de una planta, la cual conlleva la incorporación dentro de sus tejidos de carbono (proceso que se conoce como fijación de carbono). El carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de esta durante la fotosíntesis para la formación principalmente de carbohidratos (a esta acción se le conoce como captura, almacenamiento o secuestro).

La tasa de producción de biomasa potencial de una planta, depende entre otras cosas, de su tasa de formación de carbohidratos, la velocidad de crecimiento y duración de su ciclo de vida (IPPC 2001).

Tomando en cuenta que todas las plantas y animales realizan respiración, este proceso causa una disminución de oxígeno y un incremento de Dióxido de carbono atmosférico (Hall et al. 1994). Cuando una planta o una parte de ella mueren, la liberación del carbono fijado en tejidos vivos es liberada a la atmósfera en forma de Dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Locatelli 1999).

La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo (Pérez et al. 2005).

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes ya sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio de uso de la tierra, la liberación del carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos (Ericsson et al. 1993).

2.2.7. Captura y almacenamiento de carbono

La Captura y Almacenamiento del Carbono constituye un proceso consistente en la separación del CO₂ emitido por la industria y fuentes relacionadas con la generación de energía en los procesos de combustión y su transporte a un lugar de almacenamiento geológico para aislarlo de la atmósfera a largo plazo. Debido a los riesgos subyacentes se ha prohibido la difusión del CO₂ en la columna de agua

oceánica o en el fondo marino, contempladas inicialmente como una opción en los primeros estudios sobre la CAC y por tanto solamente nos referiremos al almacenamiento en el subsuelo terrestre o marino, de forma preferente en yacimientos salinos. La acidificación del océano podría tener consecuencias negativas para los ecosistemas marinos y no hay ninguna garantía de que el CO₂ no vuelva a la atmósfera.

Para capturar el CO₂ es preciso empezar por separarlo de los demás gases resultantes de los procesos industriales o de combustión. Una vez capturado el dióxido de carbono deberá purificarse y comprimirse, para luego poder ser transportado y almacenado.

Es posible reducir entre un 80 y 90 % las emisiones de CO₂ generadas por centrales eléctricas nuevas, pero aumentaría los costes de producción de electricidad entre un 35 y un 85 %. Por norma general, el precio por tonelada de CO₂ capturada es más bajo para los procesos industriales que producen una corriente de CO₂ relativamente pura (Zobel y Buijtenen 1989).

2.2.8. Los bosques en las existencias mundiales de carbono

El carbono se acumula en los ecosistemas forestales mediante la absorción de CO₂ atmosférico y su asimilación en la biomasa. El carbono se almacena tanto en la biomasa viva (la madera en pie, las ramas, el follaje y las raíces) como en la biomasa muerta (la hojarasca, los restos de madera, la materia orgánica del suelo y los productos forestales). Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y el suelo tiene capacidad para retener -o liberar- carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera. En conjunto, los bosques contienen más de la mitad del carbono presente en la vegetación terrestre y en el suelo, estimándose su cuantía en 1200 Gt. Los bosques boreales son el ecosistema que acumula una mayor cantidad de carbono (el 26 % del total del carbono terrestre), en tanto que los

bosques tropicales y templados contienen el 20 % y el 7 %, respectivamente (Dixon et al. 1995).

El carbono almacenado en el suelo y en los residuos vegetales de los ecosistemas forestales constituye una parte importante de las reservas totales de carbono. A escala mundial, el carbono del suelo representa más de la mitad del carbono almacenado en los bosques. Cabe señalar, sin embargo, variaciones importantes entre distintos ecosistemas y tipos de bosque. Entre el 80 y 90 % del carbono existente en los ecosistemas boreales está almacenado en forma de materia orgánica del suelo, en tanto que en los bosques tropicales se encuentra distribuido en partes iguales entre la vegetación y el suelo (Cuadro 10). La causa principal de esta diferencia es la influencia de la temperatura en los índices relativos de producción y descomposición de la materia orgánica. En las latitudes altas (es decir, en los climas más fríos), la materia orgánica del suelo se acumula porque se produce con mayor rapidez de la que se puede descomponer.

2.2.9. Métodos para secuestrar carbono

Los sistemas agroforestales y forestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca sistemas radiculares (raíces) y carbono orgánico en el suelo (Snowdon et al. 2001). En general, todos los componentes grandes y que cambian sustancialmente durante la vida del proyecto deberían ser medidos; sin embargo, es necesario enfatizar en aquellos que almacenan el carbono con mayor permanencia, como la biomasa leñosa.

a. Biomasa de los componentes leñosos

Los métodos más usados para estimar esta biomasa son: (a) uso de modelos de biomasa por especie; (b) aplicación de modelos generales por biomasa; (c) construcción de tablas de biomasa generales o por especie; (d) uso de tablas de rendimiento estándar de madera (Snowdon et al. 2001), y (e) uso de técnica

del árbol promedio (Mac Diken 1997). En todas estas situaciones se debe de medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de la vegetación leñosa.

➤ **Uso de modelos de biomasa por especie**

Se estima la biomasa aérea total por individuo con base en el DAP y la altura total. Lo más aconsejable es emplear modelos que hayan sido construidos bajo condiciones similares a las encontradas donde se requieran aplicar, principalmente en términos de tamaño de árboles y densidad arbórea. Algunos autores han desarrollado modelos de biomasa para su uso en los sistemas de trópico seco y húmedo. En este caso las medidas necesarias son dap y la altura total del árbol.

➤ **Uso de modelos generales**

Se han desarrollado algunos muy generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales (Brown et al. 1989). Aunque estos modelos pueden presentar grandes limitaciones, podrían usarse en el caso de no existir modelos específicos para zonas o condiciones particulares. El uso de dichos modelos generales requiere de las mediciones del dap, en algunos casos a la altura total del árbol y la densidad de la madera.

➤ **Construcción de modelos o tablas de biomasa por especie**

En caso de no encontrar modelos por especie, es posible desarrollarlos (Segura y Kanninen 2002). Los modelos de biomasa son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con dimensiones de árboles en pie (dap, altura comercial, crecimiento diamétrico, etc.) (Ortiz 1993, Brown

1997, Araujo et al. 1999). Estos modelos de biomasa pueden ser contruidos mediante un muestreo destructivo, usando un mínimo de 30 árboles bien seleccionados (Mac Diken 1997).

En general la construcción de modelos de biomasa consiste en la medición de árboles en pie y la posterior corta y cuantificación de biomasa aérea total. El árbol se divide en componentes: fuste, ramas grandes, ramas pequeñas y hojas.

Las ramas pequeñas (diámetro < 25 cm) y hojas pueden ser pesadas en fresco y transformadas a valores de biomasa tomada una muestra y secándola en el horno (70 °C hasta peso constante).

El fuste y las ramas grandes (diámetro 25 cm) se cubican (determinación de su volumen por medio de ecuaciones de Smalian, Huber, etc.) y se transforman a biomasa por medio de su gravedad específica.

➤ **Uso de tablas de rendimiento estándar**

Las tablas de rendimiento estándar estiman el volumen de árboles en pie con algunas de sus dimensiones (dap, altura total). Posteriormente, con la ayuda de la gravedad específica y el factor de expansión de biomasa (relación entre biomasa total y biomasa de fuste), puede estimarse la biomasa aérea total (García 2002).

Los valores promedios de gravedad específica, peso por unidad de volumen, pueden ser encontrados en la literatura o determinados mediante un análisis de laboratorio. El peso de las muestras secas (70 °C por 72 horas) es de fácil estimación. El cálculo del volumen se puede realizar por medio de dos métodos generales: (1) tomando piezas de

madera de forma regular (ej. Un cubo) de dimensiones conocidas (Vine et al. 1999), o (2) cubriendo las muestras de parafina e introduciéndolas en un recipiente con agua para determinar su volumen por desplazamiento de agua (principio de Arquímedes).

El factor de expansión de biomasa (FEB), la relación entre biomasa total aérea y la biomasa comercial varía mucho entre especies y condiciones particulares de los ecosistemas forestales. El valor más comúnmente empleado es de 1.6 (Dixon 1995); sin embargo, en sistemas agroforestales, se pueden encontrar valores promedios de 2.2 con un rango de 1.9 a 2.4.

➤ **La técnica del árbol promedio**

Esta técnica puede ser una opción más económica que los métodos alométricos. El concepto es que un árbol de tamaño promedio tendrá también biomasa promedio; para esto, el área basal tiende a ser un buen indicador de la biomasa total. Los árboles seleccionados se cortan y se cuantifica su biomasa, y se multiplica el peso del árbol promedio por la densidad de árboles del sistema para obtener un estimado de la biomasa total. Pueden incluirse algunas modificaciones, tales como un muestreo estratificado, el método de la relación de área basal o la utilización de valores de promedio ponderado (Mac Diken 1997). El número de árboles por cortar dependen del número de estratos del sistema.

2.2.10. Café como sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales proporcionan una gran cantidad de climas, suelos, tipo de vegetación y sistemas de producción en los agroecosistemas cafetaleros en Nicaragua, los cuales pueden clasificarse en cinco tipos:

- Tradicional o turístico.
- Policultivo manejado.
- Monocultivo (café con una especie de sombra).
- Monocultivo (café con varias especies de sombra)
- A pleno sol

Medina (2004), menciona que aproximadamente el 80 % o más del café se encuentran bajo sombra. Esta tecnología para el cultivo del café, ha constituido uno de los sistemas más exitosos del mundo de las tecnologías agroforestales. Actualmente se sigue promoviendo la combinación del manejo tradicional de sombra con tecnología moderada de los niveles de aplicación de agroquímicos, para lograr sistemas sostenibles y competitivos con tecnologías limpias y café de calidad. Varios estudios han demostrado el papel importante del café con sombra versus cafetales a pleno sol, como conservadores de la flora, fauna, microorganismos, aguas y suelos y particularmente como fijadores de carbono

Asimismo nos dice que el café bajo sombra representa, por lo tanto, una ventaja económica y ecológica, pues conserva paisajes tradicionales y genera un potencial importante de ecoturismo. Además de protegerlos de las lluvias y de los vientos fuertes, la sombra juega un papel amortiguador contra cambios de temperaturas o humedad relativa. Una mezcla de sombra crea también, una mezcla de hojarasca. Las diferentes tasas de descomposición, así como las distintas composiciones químicas de los varios tipos de hojarasca, provocan que haya una incorporación de materia orgánica constantes con un gran rango de nutrientes. La incorporación de la materia orgánica mejora la textura del suelo, facilita el desarrollo radicular del cafeto y ayuda con la infiltración del agua. En cuanto a la humedad edáfica del suelo, la capa de hojarasca y el mulch evitan la pérdida de agua en el suelo durante la época seca.

2.2.11. 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 et al. 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 et al. 1983, Notivol et al. 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), hasta las más modernas como es el empleo de rayos-X (Jozsa y Brix 1989).

2.2.12. Redes neuronales artificiales (RNA)

El desenvolvimiento del 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. Las 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 las dendritas de otras neuronas (Silva et al. 2010).

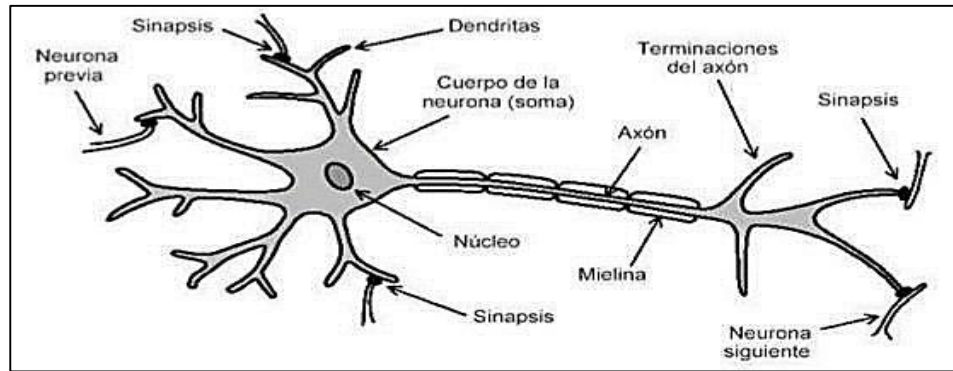


Figura 1. Estructura de una neurona biológica

Fuente: Silva et al. (2010)

Según (Bullinaria 2014), 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.

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 (Alcántara 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).

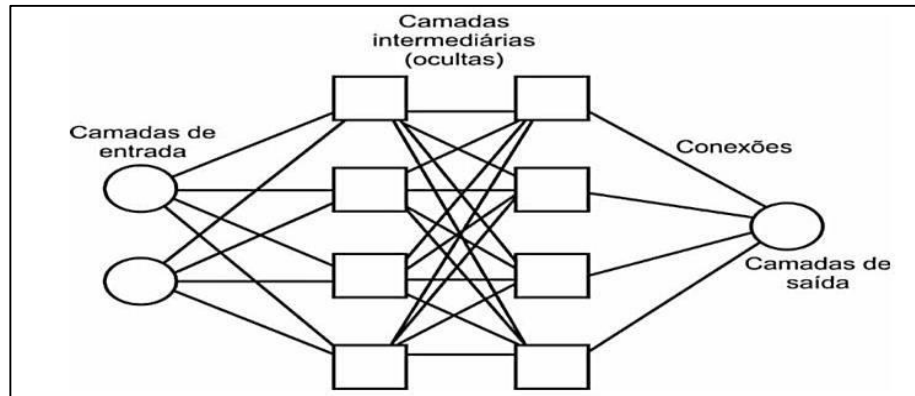


Figura 2. Estructura de una red neuronal artificial

Fuente: Binoti (2010)

a. 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).

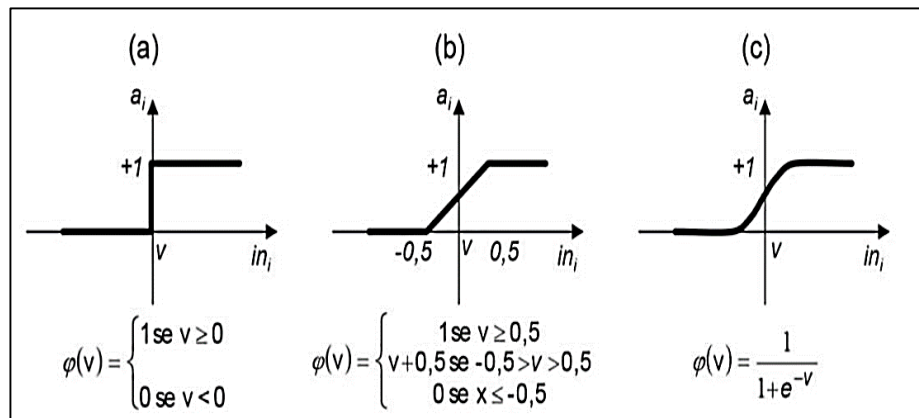


Figura 3. Principales funciones de activación en las redes neuronales artificiales

Fuente: Castro (2011)

b. 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).

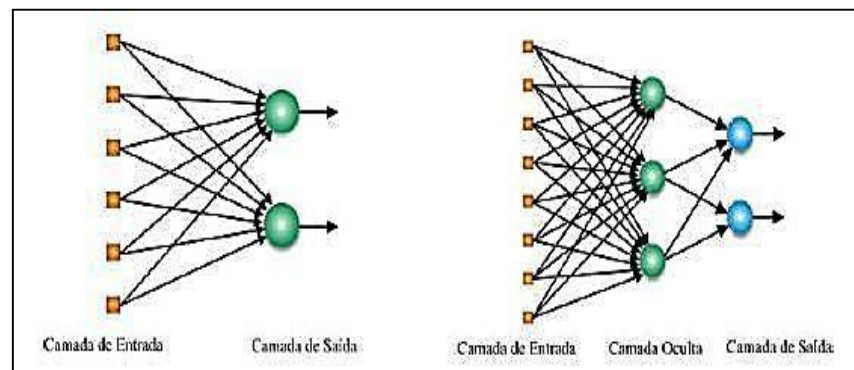


Figura 4. Conexiones de redes feedforward y feedback

Fuente: Queiroz et al. (2004)

c. 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 múltiples 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 retro propagación del error (ErroBack Propagation), con base en la regla de aprendizaje por corrección del error. Según Heaton (2011), el algoritmo de retro rogación (ErroBack Propagation) es el algoritmo más usado en el aprendizaje en RNA de múltiples capas. En la

actualidad existen otros algoritmos desarrollados 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 retro propagación, pues este necesita de un número menor de interacciones para corregir una solución de una determinada tasa de error.

d. Funcionalidad de las redes neuronales

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

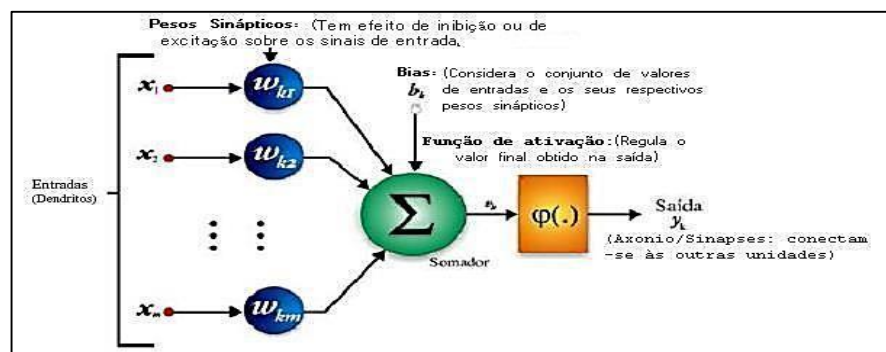


Figura 5. Proceso de funcionalidad matemática de una red neuronal artificial

Fuente: Queiroz et al. (2004)

Para 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 respectiva 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 especifica 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;

Y = Función de activación; y ,

Θ_k = Resultado de la función aditiva.

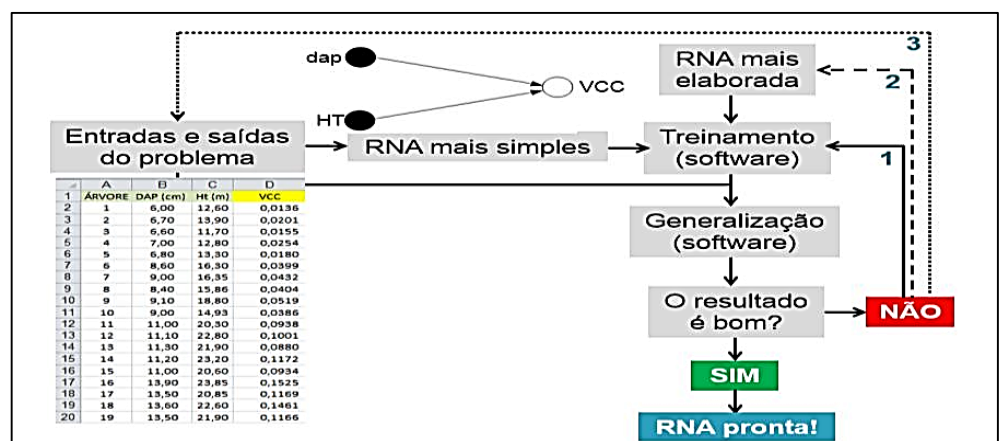


Figura 6. Procedimiento general computarizado de la construcción de una red neuronal artificial

Fuente: Queiroz et al. (2004)

Las ventajas al utilizar RNA son:

- Son dispositivos computacionales extremadamente poderosos, matemáticamente superior a las regresiones.
- Pueden aprender y generalizar a partir de los datos de entrenamiento.
- Son altamente tolerantes a fallas.
- Son muy tolerantes a ruidos.
- Paralelismo masivo los envuelve muy eficiente.

e. Aplicaciones generales de la RNA en la ingeniería forestal

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

- 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.

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

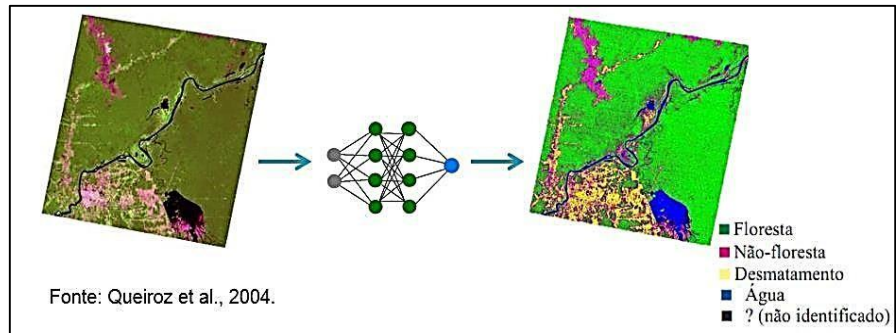


Figura 7. Aplicación de redes neuronales artificiales en los sistemas de información geográfica

Fuente: Queiroz et al. (2004)

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

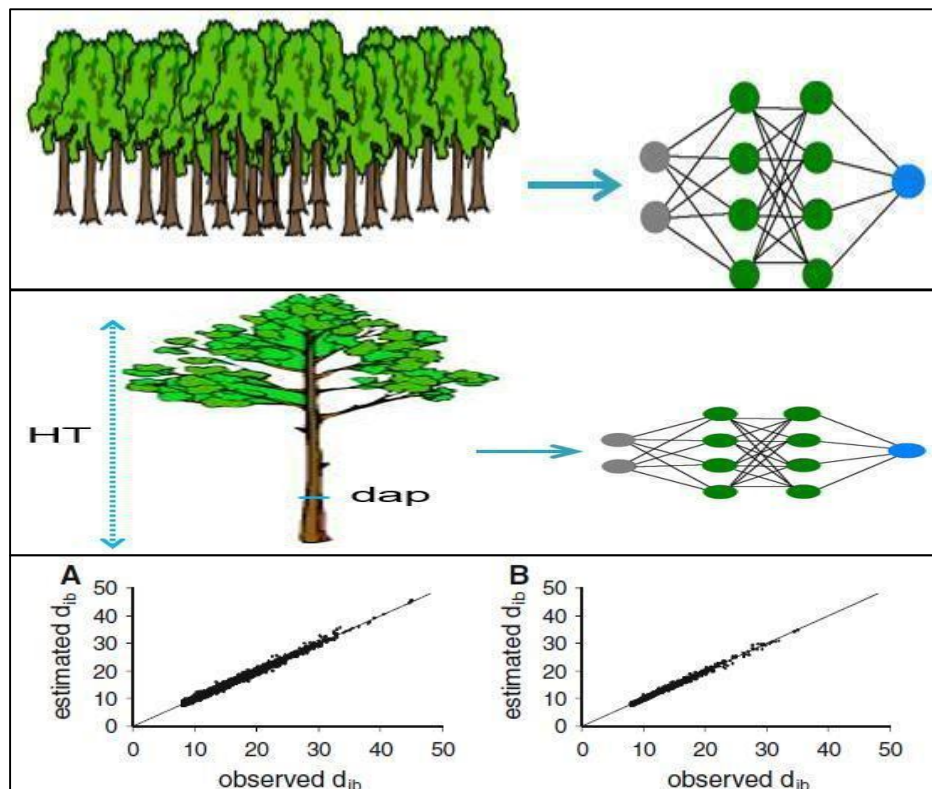


Figura 8. Aplicación de redes neuronales artificiales en las estimaciones de volumen

Fuente: Queiroz et al. (2004)

2.2.13. Especie de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken

Es una especie neotropical, que pertenece a la familia de las Boraginaceae. En regiones húmedas tropicales, su nombre común es laurel que presenta características generalmente alto, delgado, de copa angosta, rala y abierta, con mínima bifurcación, formando un único fuste de 15 a 20 m. Su corteza es de color gris a café claro, con un sistema radical amplio y profundo, hojas simples alternas y flores blancas. Su crecimiento difiere entre sistemas de producción, ya sea en plantaciones puras, en rodales de regeneración natural o en sistemas agroforestales.

Generalmente, es una especie que crece rápidamente y puede alcanzar alturas hasta de 45 m con un diámetro a la altura del pecho (dap) de 90 cm. Los árboles presentan abundante regeneración natural y se autopodan, aún en campo abierto.

El laurel se encuentra desde los 25° de latitud N, hasta los 25° Sur. Puede alcanzar un buen desarrollo con precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y una temperatura media anual de 25 °C. Se desarrolla en zonas costeras, con arenas profundas e infértiles, hasta en tierras altas montañosas muy escarpadas, con unos suelos volcánicos profundos, fértiles y ricos en materia orgánica. Se adapta muy bien a ser intercalada con plantaciones agrícolas y representa una alternativa de reforestación biológicamente factible y económicamente ventajosa, en comparación con plantaciones forestales puras (Hernández 2004).

2.2.14. NeuroForest

NeuroForest es un software interactivo de alto rendimiento orientado a la aplicación de redes neuronales artificiales. El sistema fue desarrollado por la asociación entre el proyecto NeuroForest y la empresa DAP Ingeniería Forestal y los profesores Helio García Leite de la Universidad Federal de Vicosa y Mayra Luiza M. S. Binoti de la

Universidad Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mearim. NeuroForest permite construir redes neuronales totalmente personalizables o elegir entre varias arquitecturas de redes neuronales pre-construidas. Modificar capas ocultas, el número de elementos de procesamiento y el algoritmo de aprendizaje.

Puede ser ejecutado en cualquier sistema operativo (Windows, Mac o Linux) permite la portabilidad del sistema y el uso y resolución de RNAs robustas y no están limitados por las características del sistema operativo. Las soluciones desarrolladas se pueden implementar en otros sistemas, encapsulando la red neuronal en un archivo DLL e insertarla en un archivo de Excel o Access. El sistema tiene una integración completa con cualquier sistema de recolección de datos e inventario forestal. El sistema está disponible gratuitamente para colaboradores en el sitio del proyecto neuroforest.ucoz.com o en la página web de la empresa DAP Ingeniería Forestal: www.dapflorestal.com.br.

Según Daniel Binoti, creador del sitio y del proyecto NeuroForest, se trata de un intento de aumentar la divulgación de los conocimientos en Inventario, Medición y Manejo Forestal en todo el mundo, a través de la divulgación de softwares gratuitos. Todas las versiones del sistema menor a 3.0 sólo pueden utilizarse para fines no comerciales y operativos, el uso del mismo para estos fines sólo es posible con la autorización de los desarrolladores durante el período vigente de contrato.

Actualmente existe la actualización del software Neuroforest 4.0, presenta un mejor rendimiento en gráficas y nuevos algoritmos; sin embargo, esta versión es pagada.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Se realizó en cinco parcelas agroforestales del Centro Poblado San Miguel de Las Naranjas del distrito y provincia de Jaén, región de Cajamarca, donde las parcelas presentan la siguiente codificación: PA01, PA02, PA03, PA04 y PA05.

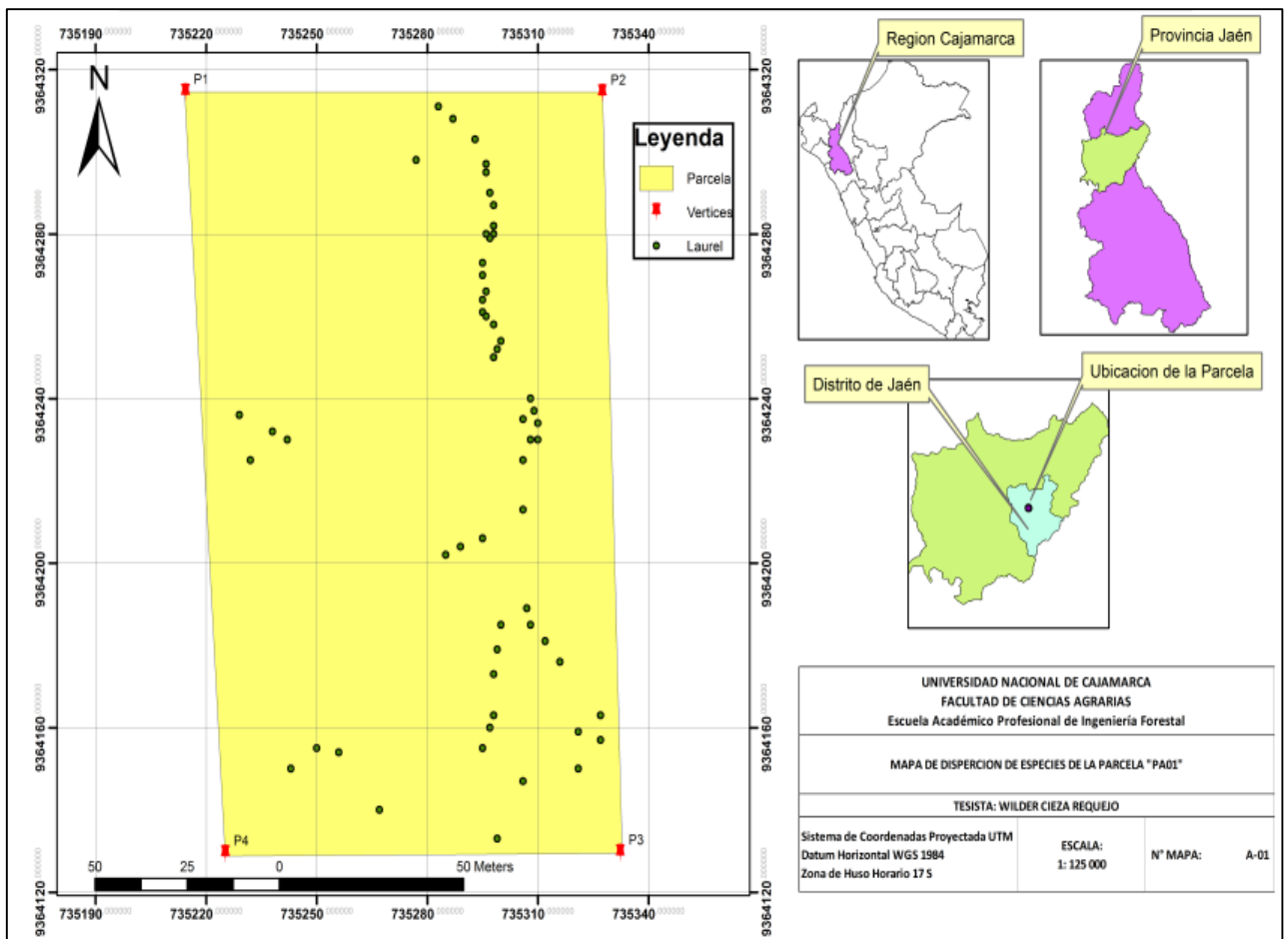


Figura 9. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA01"

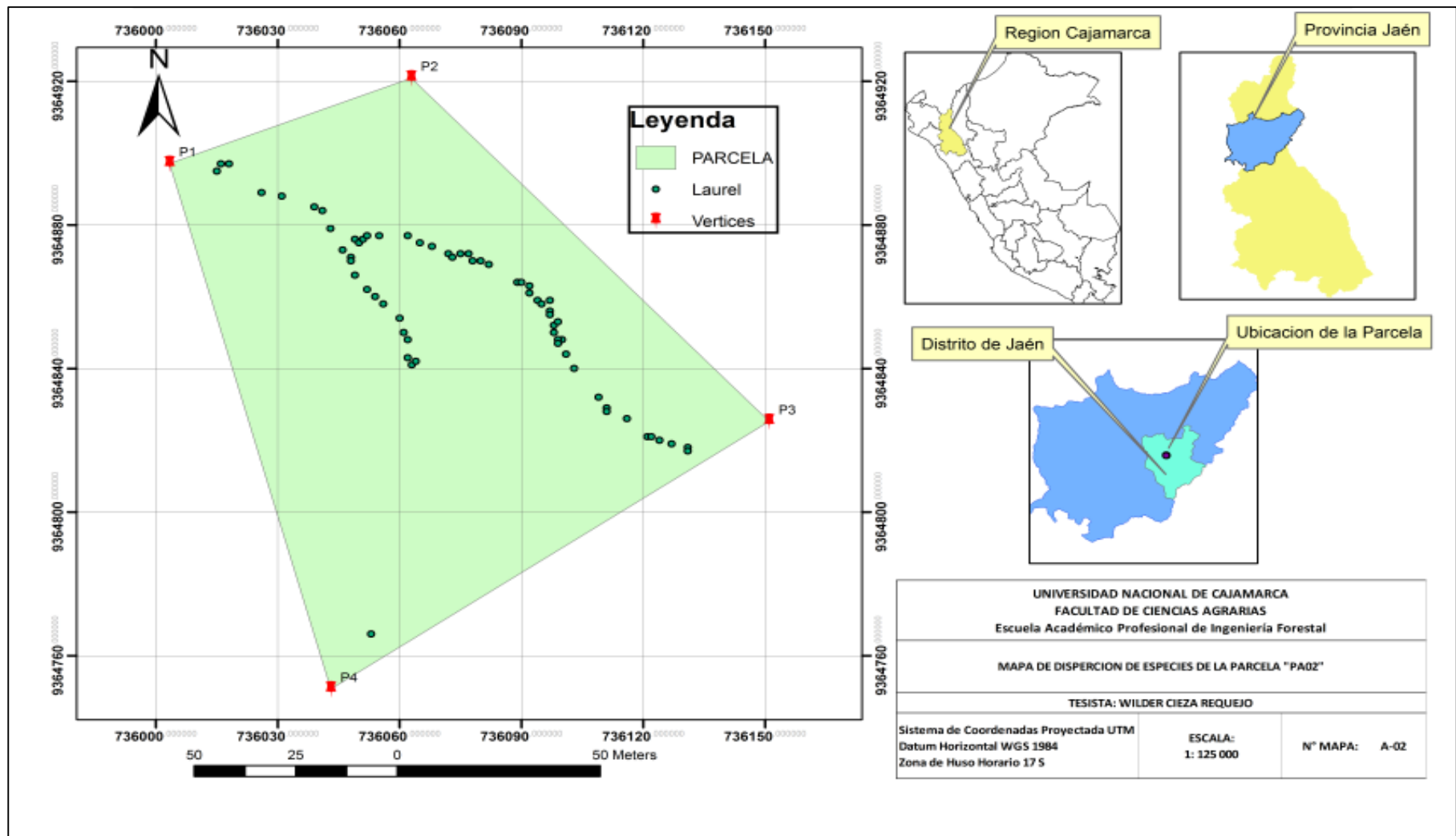


Figura 10. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA02"

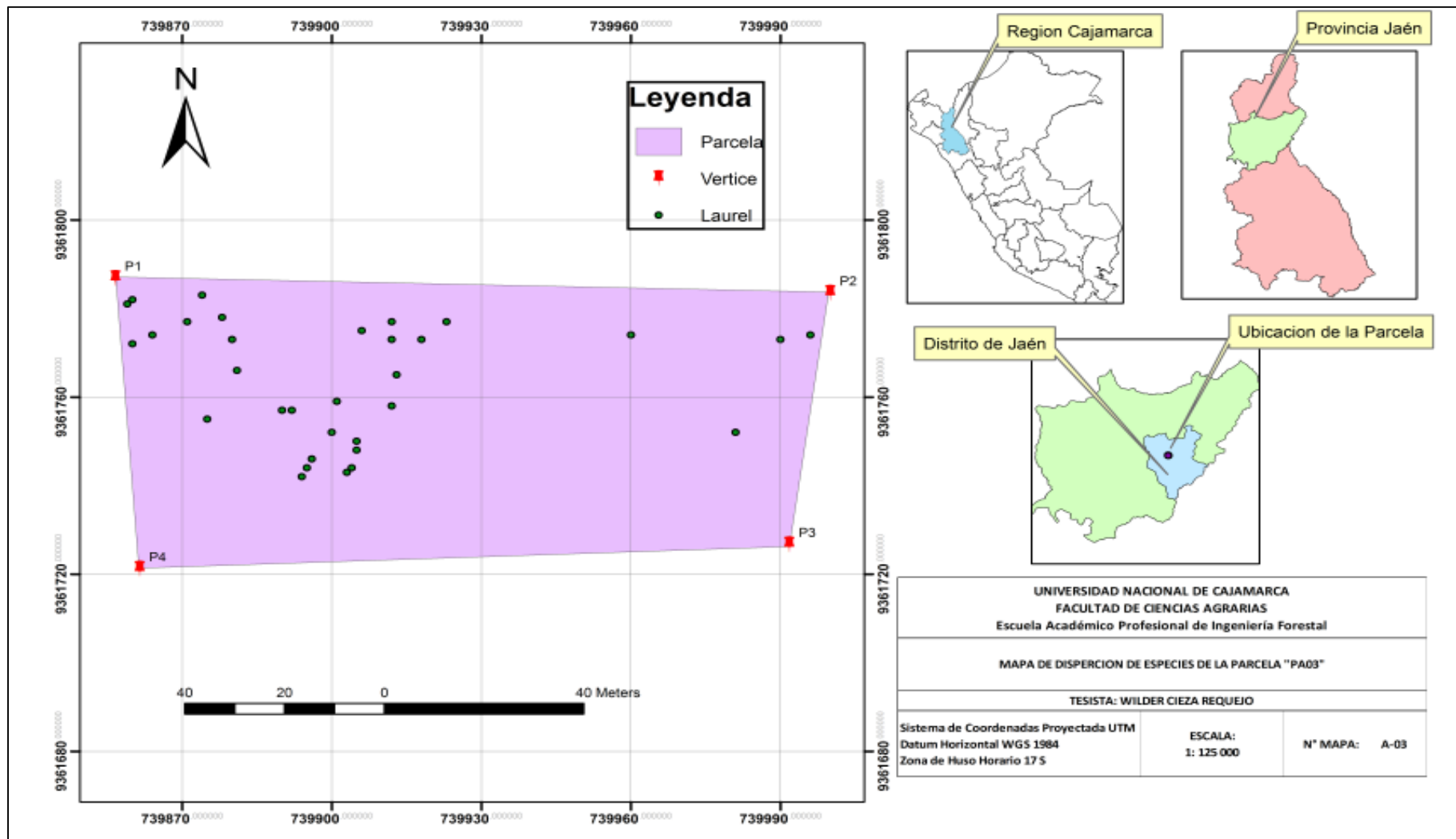


Figura 11. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA03"

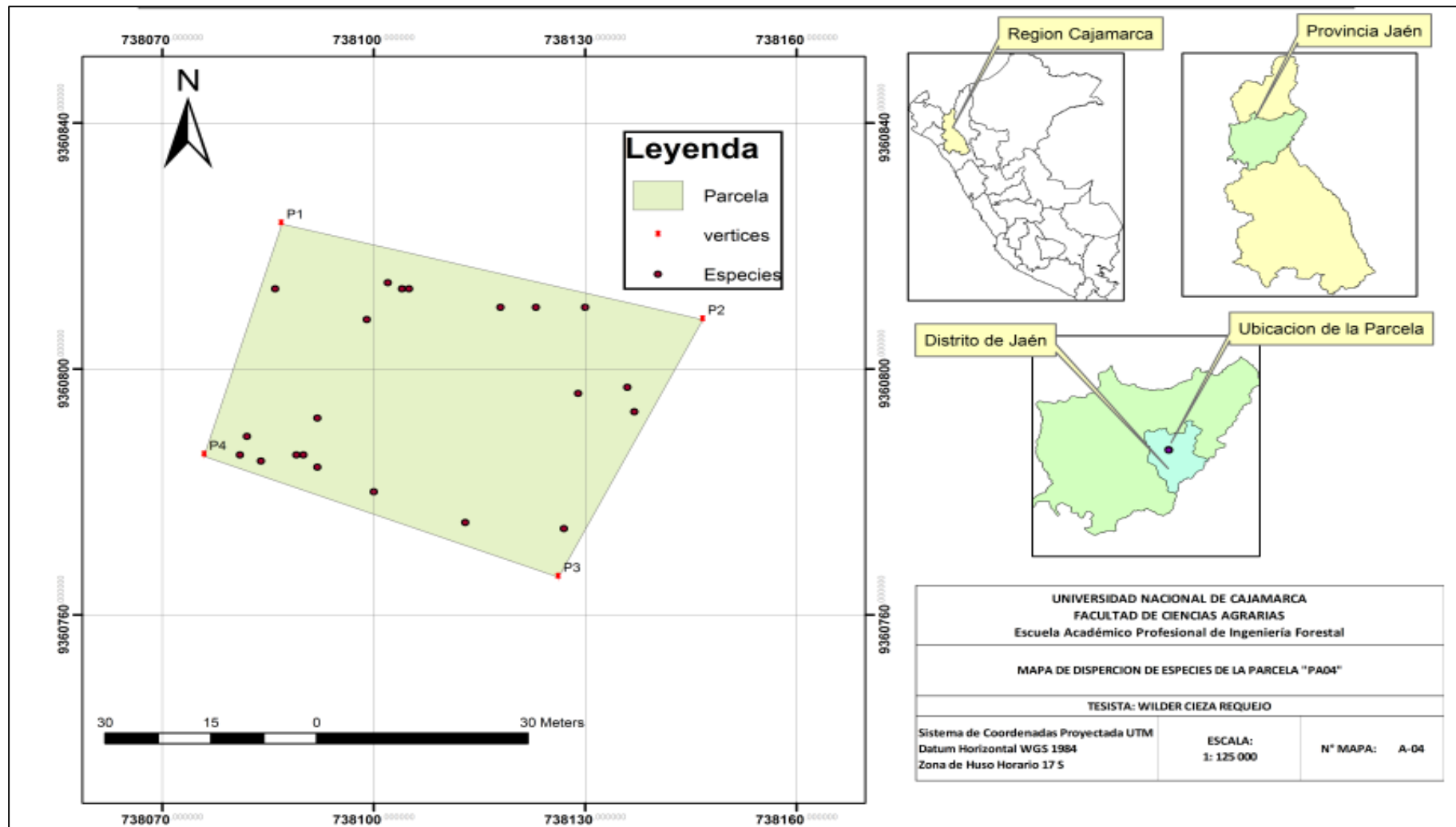


Figura 12. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA04"

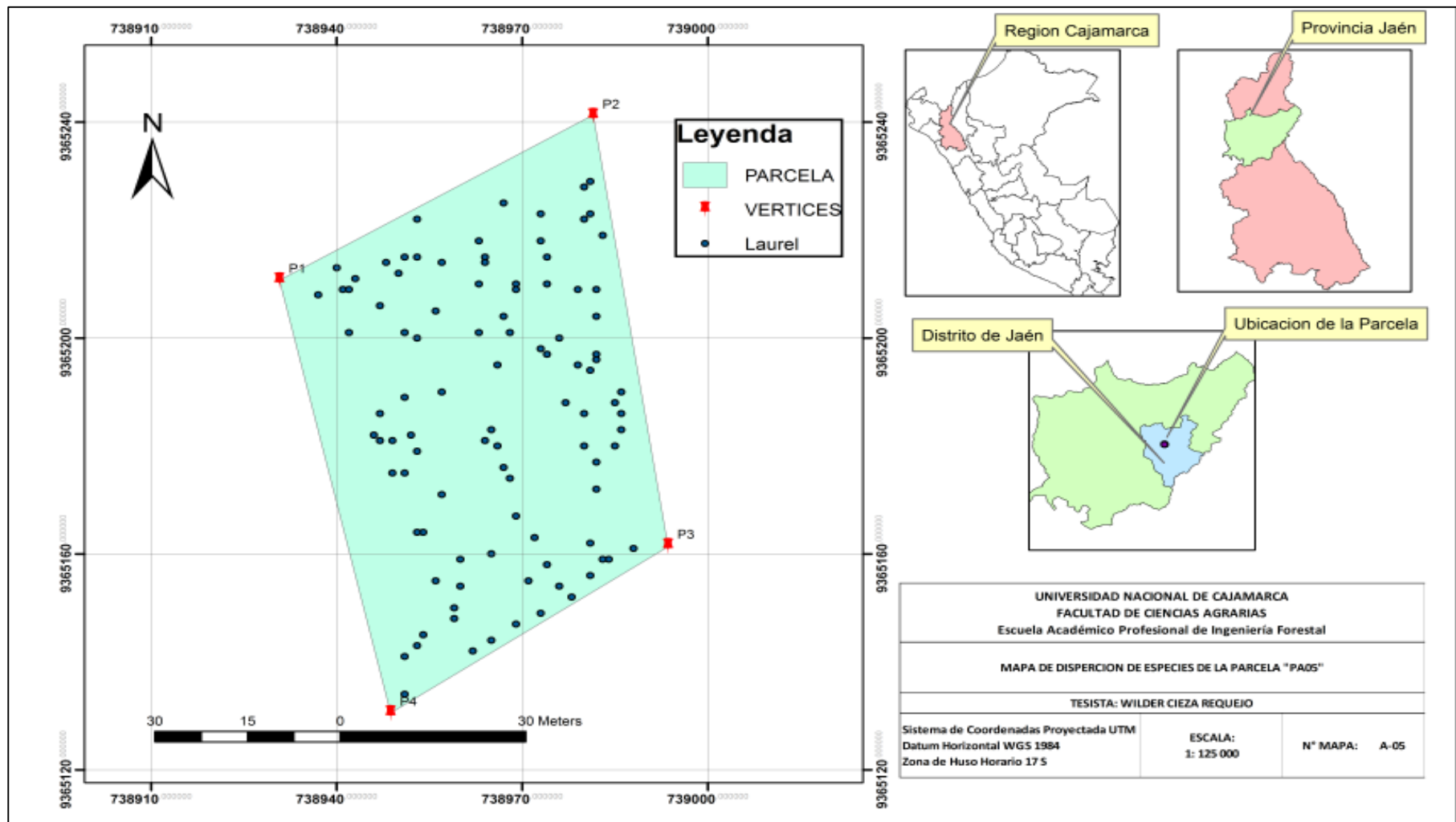


Figura 13. Mapa de dispersión de especies de la parcela "PA05"

3.2. MATERIALES

3.2.1. Material biológico

Muestras internas fustales de 0.05 cm x 30 cm de la especie de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken.

3.2.2. Material y equipo de campo

Libretas, lápices, marcadores no permanentes, cinta métrica, forcípula, balanza electrónica, sorbetes, plumón indeleble, cinta mastick, botas y guantes de seguridad, receptor GPS, nivel Abney y barreno de Pressler.

3.2.3. Material y equipo de gabinete e informático

Computadora portátil, impresora/scanner y software como ArcGis 10.4.1, *NeuroForest*® (versión 3.3) y Microsoft office 2016.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Trabajo de campo

a) Muestreo y extracción de cuerpos de prueba

Se realizó un inventario al 100 % para cada parcela de evaluación.

Para determinar la densidad de la madera se extrajeron cuerpos de prueba del fuste de la especie con una muestra de 50 árboles en todas las parcelas de evaluación.

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 medirá su largura.

Los cuerpos de prueba fueron codificados y secados al aire libre, para su posterior análisis. El uso del taladro ocasionó un hueco en

el fuste, que fue encubierto con parafina para evitar el ingreso de insectos y el contagio de enfermedades patológicas.

3.3.2. Trabajo de gabinete

a) Determinación de la densidad de la madera

Los cuerpos de prueba extraídos del fuste y se secaron al aire libre hasta conseguir un peso constante y utilizando la siguiente expresión, se calculó la densidad aparente:

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

Donde:

Da = Densidad aparente, en g/cm³.

Ws = Peso seco de la madera, en g.

V = Volumen del cuerpo de prueba.

b) Cálculo del volumen del cuerpo de prueba

El cálculo del volumen de los cuerpos de prueba se obtuvo con la siguiente expresión:

$$V = \pi * r^2 * L$$

Donde:

V = Volumen del cuerpo de prueba, en cm³.

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

L = Largo del cuerpo de prueba.

c) Cálculo del volumen en pie de los árboles

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{\pi}{4} * dap^2 * Ht * Fm$$

Donde:

V = Volumen del árbol en pie, en m³

dap = Diámetro a la altura del pecho

Ht = Altura total, en m.

Fm = Factor mórfico de la especie, se consideró un valor de 0.55.

d) Cálculo de la biomasa del fuste de los árboles

La biomasa del fuste del árbol, se obtuvo con la siguiente expresión (Vital et al. 1985):

$$B = V * Da$$

Donde:

B = Biomasa del fuste del árbol, en Kg.

V = Volumen del fuste del árbol, en m³.

Da = Densidad aparente del cuerpo de prueba, en g/cm³.

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 t.

Wf = Peso del fuste por determinada área, en t

K = Factor constante a 0.5.

f) Redes neuronales artificiales

Se procedió a entrenar y generalizar las redes neuronales artificiales. Para ello los datos fueron organizados por medición combinándose entre ellos. El software utilizado fue Neuroforest® (versión 3.3), donde se entrenaron redes neuronales artificiales para estimación actual de volumen por área. La configuración de la RNA utilizó una arquitectura de red del tipo Multilayer Perceptron (MLP), totalizando tres capas (capa de entrada con variable continua y categórica; capa de procesamiento o oculta y capa de salida). La capa oculta, arquitectura de las redes, varía de acuerdo al número de variables, para este estudio fueron utilizadas neuronas de acuerdo a las variables y la función de activación para las capas ocultas y de salida fue sigmoide. El algoritmo de entrenamiento empleado fue Resilient propagation (RPROP+). El límite de parada fue 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 fueron 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 generalización (Binoti 2010).

g) Análisis estadístico

Las estimativas de las redes neuronales artificiales fueron evaluadas a través por la correlación entre captura de carbono estimado y observado ($R\hat{Y}Y$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Densidad de la madera

La densidad media de la *Cordia alliodora* en las parcelas agroforestales de café se pueden apreciar en la tabla 1, donde la mayor densidad media se encuentra en la parcela ubicada en Santa Fe con 0.529 g/cm³, seguido por la parcela ubicada en La Palma con 0.486 g/cm³, posteriormente por la parcela ubicada en Miraflores con 0.386 g/cm³ y por último las parcelas ubicadas en La Florida con 0.335 g/cm³ y Cruz Grande con 0.282 g/cm³.

Tabla 1. Densidad media, biomasa fustal y edad del laurel

PARCELA	EDAD (AÑOS)	DENSIDAD MEDIA (g/cm ³)
PA01	25	0.529
PA02	19	0.486
PA03	08	0.386
PA04	08	0.335
PA05	06	0.282

4.1.2. Volumen en pie de los árboles

Los volúmenes en pie calculado en las diferentes parcelas agroforestales se pueden apreciar en la tabla 2, donde la parcela con código PA02 presenta mayor cantidad volumétrica con 34.970 m³ y la parcela con código PA04 presenta menor cantidad volumétrica con 6.065 m³, obteniendo un total de volumen en pie en todas las parcelas 106.37 m³ con 283 árboles inventariados.

Tabla 2. Número de árboles y volumen en pie del laurel

PARCELA	N° DE ÁRBOLES	VOLUMEN EN PIE (m³)
PA01	61	25.305
PA02	66	34.970
PA03	32	9.615
PA04	23	6.065
PA05	101	30.415
SUMA	283	106.37

4.1.3. Biomasa y captura de carbono del fuste de los árboles

En la tabla 3, se aprecia la biomasa y la captura de carbono observada, estimada y proyectada a una hectárea, donde la parcela con código PA02 presenta mayor captura de carbono con 8.4909 Tm C y la parcela con código PA04 presenta menor captura de carbono con 1.0172 Tm C. Todas las parcelas evaluadas presentan una captura de carbono de 22.3484 Tm C.

La proyección de captura de carbono por hectárea se realizó de acuerdo a la técnica de sistemas computaciones de redes neuronales artificiales utilizando las variables de área (m²), densidad (g/cm³), cantidad de árboles inventariados y biomasa (t) por cada parcela de evaluación, obteniendo como resultado que la parcela PA02 presenta mayor cantidad de captura de carbono con 8.3655 Tm C /ha, y la parcela PA04 menor cantidad de captura de carbono con 1.0254 Tm C/ha y en todas las parcelas de evaluación se tiene una captura de 33.4629 Tm C /ha.

Tabla 3. Captura de carbono del fuste de los árboles de laurel

PARCELA	ÁREA (m ²)	BIOMASA (t)	CAPTURA DE C (Tm C)	CAPTURA DE C CON RNA (Tm C)	CAPTURA DE C CON RNA (Tm C/ha)
PA01	9347	13.3790	6.6895	6.6894	7.6677
PA02	10056	16.9818	8.4909	8.4750	8.3655
PA03	2066	03.7245	1.86225	1.8458	8.2419
PA04	1026.5	2.0344	1.0172	1.0178	1.0254
PA05	2680.5	8.5772	4.2886	4.2990	8.1624
SUMA		44.6969	22.3484	22.3270	33.4629

4.1.4. Resultado estadístico

Los datos analizados entre la captura de carbono observado y estimado presentan una alta correlación con $R^2 = 0.9977$; 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.

En la figura 14, se aprecia la correlación de la captura de carbono observado y estimado, donde se observa que los datos están cercanos a la línea de tendencia, confirmando la confiabilidad de los datos estimados.

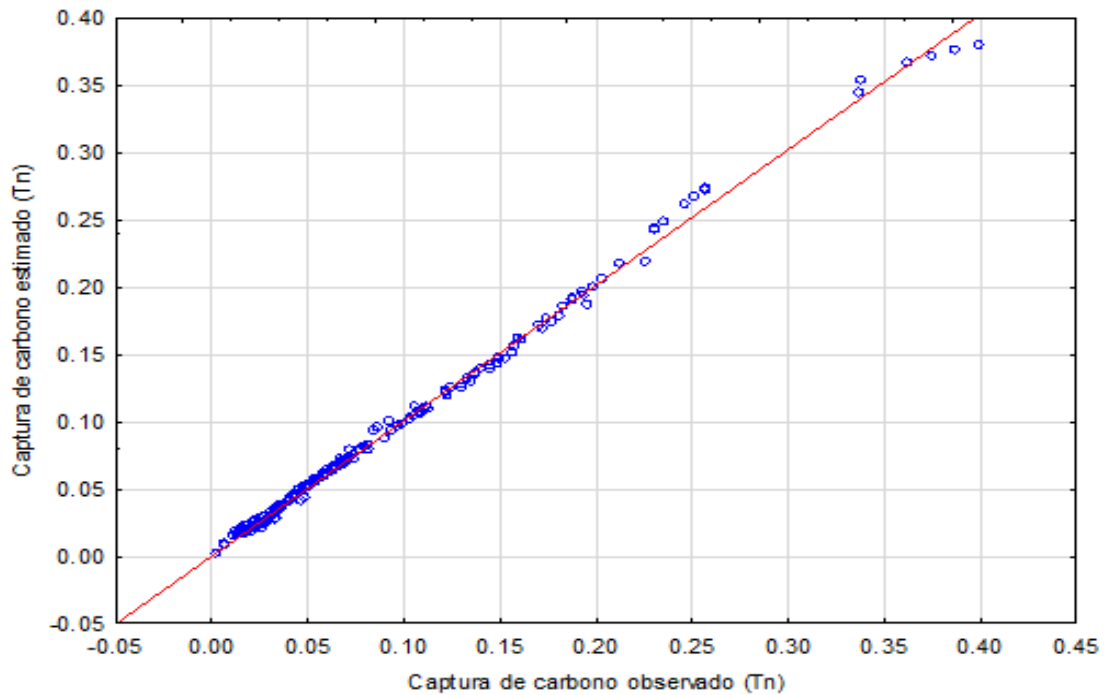


Figura 14. Correlación de la captura de carbono observado y estimado

4.2. Discusiones

La mayor captación de carbono se encuentra en la biomasa de los fustes, donde se evalúa por medio de inventarios forestales, expresado en Toneladas Métricas. Para lo cual se utiliza la fracción de carbono que dentro de las políticas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), recomienda utilizar 0,5 como fracción de carbono en materia seca. El presente trabajo de investigación tubo el objetivo de cuantificar la captura de carbono del fuste de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken, con técnica de redes neuronales artificiales en el distrito y provincia de Jaén de la región Cajamarca. El fuste de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken, ubicado en la parcela PA02 que tiene una edad de 19 años presenta mayor cantidad de captura de carbono por hectárea con 8.3655 Tm C/ha, sin embargo la parcela PA04 cuyos arboles tienen una edad de 8 años es la que presenta la menor cantidad de captura de carbono por hectárea con 1.0254 Tm C/ha; esta diferencia entre cantidades de carbono por hectárea se debe a la cantidad de árboles en cada parcela; ya que la parcela que presenta mayor

cantidad de carbono capturado es la parcela PA02 la cual tiene 66 árboles y la parcela que tiene la menor cantidad de carbono capturado es la parcela PA04 con 23 árboles. También se determinó que la parcela que contiene mayor cantidad de árboles fue la parcela PA05 con un total de 101 árboles y con un total de carbono capturado de 8.1624 Tm C/ha; sin embargo, la parcela que obtuvo la mayor cantidad de captura de carbono fue la parcela PA02 con 8.3655 Tm C/ha, con solamente 66 árboles, esta discordancia se debe a distintos factores como la densidad y la distribución de los árboles dentro de la parcela. También no se descarta que puede existir influencia de factores climáticos como la temperatura y precipitación; como menciona Valera (2013) en una investigación sobre la determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en sistemas agroforestales de *Theobroma cacao*, donde determina que los factores climáticos influyen en la captura de carbono, donde los factores que mayor influencia tuvieron en su investigación fue la precipitación y la temperatura.

Los valores de cuantificación de carbono en sistema agroforestal encontrado por (Guerrero 2006) varía de 126.4 Tm C/ha, y 114.5 Tm C/ha. Estos valores de cuantificación de carbono fue de todo el árbol, teniendo en cuenta que el 50 % de captura de carbono se establece en el fuste, lo cual indica que los valores de cuantificación de carbono fustal varia de 63.2 a 57.25 Tm C/ha; sin embargo un estudio realizado por Ortíz et al. (2008), estimó que el almacenamiento y fijación de carbono en sistemas agroforestales de Cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*), a una edad de 25 años, en Changuinola-Panamá, se tiene un almacenamiento entre 11.72 Tm C/ha, y 17.18 Tm C/ha, que a comparación con este trabajo de investigación realizado en la provincia de Jaén, región Cajamarca, se determinó que el fuste del laurel captura entre 1.0254 Tm C/ha, y 8.3655 Tm C/ha, dependiendo de la edad, distribución y manejo de la plantación.

Ortíz y Riascos (2006), utilizando el método destructivo determinaron el almacenamiento y captura de CO₂ en sistemas agroforestales de Laurel *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken y Cacao (*Theobroma cacao*), para

sistemas con una distribución de 6x6 m se obtuvo 13.41 Tm C/ha; para sistemas con una distribución de 9x9 m se obtuvo un total de 10.05 Tm C/ha, y en una tercera parcela con distribución de 12x12 m se obtuvo un total de 6.245 Tm C/ha, donde todas las parcelas tenían una edad de 25 años. Sin embargo en nuestro trabajo de investigación se utilizó el método no destructivo para evaluar la cantidad de carbono capturado por el fuste de laurel *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken, en sistemas agroforestales de café, donde todas las parcelas evaluadas presentaron una distribución de 9 x 9 m y la parcela que presentaba una edad de 25 años fue la parcela PA01, donde se observó que dicha parcela capturó un total de 7.6677 Tm C/ha, valor muy parecido a la investigación hecha por (Ortíz y Riascos 2006) que con una distribución de 9 x 9 m obtuvo un total de 10.05 Tm C/ha.

Hernández (2016) en el departamento de Santander-Colombia, evaluó la captura de carbono para distintas especies forestales dentro de los cuales se evaluó la especie de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken, en la cual se evaluaron a 3 individuos de esta especie obteniéndose un total de 0.351 t de biomasa lo que significa que se obtuvo un total de 0.176 Tm C/ha, sin embargo en el presente estudio de investigación se observó que en el sistema agroforestal de *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken y café en una parcela con 23 árboles obtuvo 2.0344 t de biomasa y capturó un total de 1.0172. Por lo tanto, la investigación hecha por Hernández (2016) tiene valores muy similares de biomasa a los reportados en el presente estudio de investigación 0.117 t y 0.088 t respectivamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La masa de carbono capturado del fuste de poblaciones de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken, fue determinado con redes neuronales artificiales en el distrito y provincia de Jaén de la región Cajamarca. La parcela PA01 con 61 individuos captura 6.6895 Tm C, la parcela PA02 con 66 individuos captura 6.4908 Tm C, la parcela PA03 con 32 individuos captura 1.86225 Tm C, la parcela PA04 con 23 individuos captura 1.0172 Tm C y la parcela PA05 con 101 individuos captura 6.6895 Tm C de todas las parcelas evaluadas obteniendo un total de 4.2886 Tm C, lo cual sumando la captura de todas las parcelas se tiene un total de 22.3484 Tm C.

El fuste de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken, ubicado en la parcela PA02, presenta mayor cantidad de captura de carbono proyectado a una hectárea con 8.3655 Tm C/ha; y la parcela PA04, presenta menor cantidad de captura de carbono proyectado a una hectárea con 1.0254 Tm C/ha; Sin embargo, en toda el área de estudio se obtuvo una captura de carbono proyectado a una hectárea total de 33.4629 Tm C/ha.

La correlación entre los datos de captura de carbono observado y estimado con la técnica de redes neuronales artificiales es de $R^2 = 0.9977$, presentando una confiabilidad aceptable con los datos obtenidos.

El volumen total en pie de los árboles de todas las parcelas evaluadas fue 106.37 m³, considerando 283 árboles inventariados.

Los árboles ubicados en la parcela PA01, presenta una mayor densidad media con 0.529 g/cm³ y los árboles ubicados en la parcela PA05, presenta una menor densidad media con 0.282 g/cm³.

5.2. 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.

Implementar un sistema global para la especie *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken, bajo en sistema de plantación agroforestal, permitiendo generalizar la captura de carbono para todas las áreas reforestadas con esta especie.

Conllevar el estudio realizado a la concientización ambiental de captura de carbono que genera el fuste de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken.

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.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara, A. E. M. D. 2015. Redes neurais artificiais para prognose do crescimento e da produção de povoamentos de eucalipto em Minas Gerais.

Binoti, M. L. M. S. 2010. Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto. Viçosa: UFV, 2010. 54 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Brown, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. Roma: FAO, Montes 134, 1997. 55 p.

Brown, S. y Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest whit applications to forest inventory data. Forest science35 (4): 381 – 902.

Bullinaria, J. A. 2014. Introduction to neural computation: notas de aula. Disponível en:<<http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>>.

Campos, J. C. C., Leite, H. G. (2013). Mensuração florestal: Perguntas e respostas. 4. ed. Viçosa: UFV. 605 p.

Castaño, A., Chica, H., Obando, D., y Riaño, N. 2014. Intercambio gaseoso en *Cordia alliodora* *Alnus acuminata* y *Pachira quinata* en Colombia. Revista Cenicafé, 63(1): 93-110.2012.

Castro Z. R. R., Arteaga R. M., Vázquez P. & J. L. Jiménez R. 2002. Introducción a la meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. México. 247 p.

Chiari, R., Carrero, O. E., Jerez, M., Quintero, M. A., Stock, A., y Stock, J. 2008. Modelo preliminar para la planificación del aprovechamiento en plantaciones forestales industriales en Venezuela. Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América, 33 (11), 802-809.

Ciesla W. M. 1996. Cambio climático, bosque y ordenación forestal. Una visión de conjunto, Roma, Italia FAO 115 p.

Cown, D.J. 1978. Comparison of the pilodyn and tensiometer methods for the rapid assesment of wood density in living trees. N.Z.J. For. Sci. 8:384-391.

Del Pilar Marín, M., Andrade, H. J., & Sandoval, A. P. 2016. Fijación De Carbono Atmosférico En La Biomasa Total De Sistemas De Producción De Cacao En El Departamento Del Tolima, Colombia. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 19(2).

Demaerschalk, J. P. 1973. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. Can. J. For. Res. 3: 90-94.

Dixon, K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Agroforestería en las Américas. 2(7). 22- 26.

Einspahr, D. W., J.P. Van Buijtenen y J.R. Peckham. 1969. Pulping characteristics of ten-year loblolly pine selected for extreme wood specific gravity. Sil. Gen. 18(3):57-61.

Erickson, G, Namkoong y J.H. Roberts, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. Forest ecology and management. 62 p.

Escalona, F. C. P., Aldrete, A., Guerrero, A. G., González, A. M. F., Cetina-Alcalá, V. M., & Huerta, H. V. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de pinus greggii Engelm. Revista Fitotecnia Mexicana, 30(3), 251-254.

FAO 2002. Situación de los mercados de productos básicos 2001 – 2002. Dirección de productos básicos y comercio. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Italia, Roma.

García, A. 2002. Sistemas silvopastoriles. Una alternativa para la venta de los servicios ambientales y mejorar el nivel de vida de las familias ganaderas en Nicaragua. Managua, Nicaragua UNA. 117 p.

Godfrey, G.A. y D.K. Garthwaite. 1984. Rapid assesment of outerwood specific gravity in live trees using a pocket durometer. Can. J. For. Res. 14:145-150.

Görgens, E. B. 2006. Estimación do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais.

Braga, A. De P., Carvalho, A. P. De L. F., Ludemir, T. B. 2000. Redes Neurais Artificiais: teorías e aplicações. Rio de Janeiro: Editora LTC. 262 p.

Guerrero, A. M. O., Chalapud, L. D. R., & San Juan, D. P. 2006. Almacenamiento Y Fijación De Carbono Del Sistema Agroforestal Cacao *Theobroma cacao* LY Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken En La Reserva Indígena De Talamanca, Costa Rica. Ingeniero forestal. Universidad de Nariño.

Gutiérrez V. H. y Lopera G.J. 2002. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de Carbono en plantaciones forestales. En: Simposio Internacional: Medición y Monitoreo De La Captura De Carbono En Ecosistemas Forestales. Valdivia). Valdivia: Universidad Austral de Chile. Disponible en internet: www.elsevier.com

Hairiah K., Sitompul S. M., Van Noodwick M. y Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor, Indonesia.

Haykin, S. 2001. Redes neurais: princípios e prática. Trad. de Paulo Martins Engel. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman. 900 p.

Heaton, J. 2011. Introduction to the math of neural networks. St. Louis. 92.

Hernández, R. 2016. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Nogal Cafetero *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken. Manizales: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 32 p.

Houghton, R. A., and 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.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1995. Climate change (1994): Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC 1S92 emission scenarios. Edited by J.T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Makell, CUP.

IPCC, 2001. Intergovernmental panel on climate change. 2001. Synthesis report. IPCC third assessment report (TAR). A report of the IPCC. WMO UNEP. Geneva, Switzerland.

Joosten R, J Schumacher, Ch Wirth, A Schulte. 2004. Evaluate tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *For. Ecol. Manage.* 189:87-96

Jozsa, L. A. y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24-year-old Douglas-fir stand. *Can. J. For. Res.* 19:1137-1145.

Kosko, B. 1992. Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence. Englewood Cläfs, NJ: Prentice Hall. 449 p. Orientador: Siu Mui Tsai, Dissertação (mestrado) - CENA ISBN 0-13-611435-0.

Kozak, A., D. D., Munro and J. H. G. Smith. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *For. Chron.* 45(4):278–283.

Locatelli, B. 1999. Bosques tropicales y ciclo del carbono. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. 91 p.

Mac Diken, K, G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock international institute for agricultural development. 87 p.

Manzo, S. V., y Hernández, J. V. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques*, 3(1), 81-87.

Medina C. 2004. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistemas de café con sombra (*Coffea arabica* L), hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. Tesis. Managua, Nicaragua, UNI.108 p.

Méndez G. J., Luckie N. S. L., Capó A. M. Á., & Nájera L, 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.

Meyer, H. A., y Nelson, F. B. 1952. Accuracy of Forest Growth determination based on the measurement of increment cores.

Nair, P., Nair, V.D., Kumar, B.M., Haile, S.G. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environ. Sci. Policy*. 10:10-16.

Nordhause, D. W. 1991 Economic approaches to greenhose warming Tomado de Rudiger Dornhush y James M. Postba Global warming: economic policy. MIT Press

Notivol, E. L. A., Gil J. A. Pardos. 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. *Invest. Agrar. Sist. Rec. For.* Vol. 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 p.

Ormerod, D. W. 1973. A simple bole model. *For. Chron.* 49: 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*).

Ortiz, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniera Forestal. Serie de apoyo académico No. 16. Cartago, Costa Rica. 71 p.

Parresol B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573–593.

Pérez, E. et al. 2005. Potencial de plantación y fijación de carbono. Tomo II. MAGFOR – PROFOR. pp. 15, 16,18, 165 p.

Ramírez, O. y Gómez M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de Carbono. En: *Revista Forestal Centroamericana*. No 27, (Jul-Sep); 17-22.

Riaño, N., Tangarife, G., Osorio, O., Giraldo, J., Ospina, C., Obando, D., Gómez, L., Jaramillo, L. 2005. Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico. Chinchiná: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Federación Nacional de Cafeteros: CENICAFÉ: CONIF. 51 p.

Sandker, M., Crete, P., Lee, D., Sanz, M. 2015. Consideraciones técnicas para la elaboración de niveles de referencia de emisiones forestales/Niveles de referencia forestales en el marco de la CMNUCC. Ed. ONU-REDD+ (Suiza). 44 p.

Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. In *Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales* (Vol. 18).

Schlesinger W H 1997 *Biogeochemistry: an Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego, CA. USA. 588 p.

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 p. Trabajo de grado (Lic. Ingeniero Forestal). Universidad de Heredia (Csta Rica).

Segura M. y Kanninen M. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A. 2010. *Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas*. São Paulo: Artiliber. 399 p.

Smith, D.M. 1955. Comparison of two methods for determining the specific gravity of small wood samples of second-growth Douglas-fir. Forest Products Laboratory. Report 2033. madison, Wi. 21 p.

Snowdon, P., Raison J., Keith, H., Montagu, K., Bi, H., Ritson, P., Grieson, P., Adams, M., Burrows, W., Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report, no, 31, primer borrador. Australian Greenhouse Office, AU. 114 p.

Somarriba, E., Suárez, A., Calero, W., Botina, A., & Chalaca, D. 2008. Aprovechamiento, rendimiento maderable y carbono perdido en los residuos de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales (*Theobroma cacao*) y bananales (Musa AAA cv. Gros Michel) de Talamanca, Costa Rica. Agroforesteria en las Américas, 1(46), 34-39.

Sprague, J. R., J. T. Talbert, J. B. Jett y R. L. Bryant. 1983. Utility of the pilodyn in selection for matured wood specific gravity in loblolly pine. Forest Sci. 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.

Vasquez, G. 1987. Crecimiento de un bosque de guandal explotado en el litoral pacífico colombiano. Medellín, 212 p. Trabajo de grado (Ing. Forestal). Universidad Nacional de Colombia.

Vélez, V. H. G., y Arango, G. J. L. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo Del La Captura De Carbono En Ecosistemas Forestales. Valdivia.

Vine, E., Sathaye, J., Makundi, W. 1999. Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 p.

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. y 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, p. 87-119.

ANEXO

Tabla 4. Inventario de los árboles de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken en cada parcela de evaluación y la cuantificación de la captura de carbono observado y estimado

PARCELA	CÓDIGO DE ÁRBOL	DAP (cm)	COORDENADAS UTM		ÁREA (m ²)	ALTURA TOTAL (m)	VOLUMEN (m ³)	DENSIDAD (gr/cm ³)	BIOMASA (t)	CAPTURA DE CARBONO OBSERVADO (t C)	CAPTURA DE CARBONO ESTIMADO (t C)
			ESTE	NORTE							
PA01	SF01	25.146481	735280	9364299	9347	15.01154404	0.410033712	0.5287	0.216784824	0.108392412	0.10660406
PA01	SF02	20.6901426	735277	9364298	9347	13.508008	0.249780218	0.5287	0.132058801	0.066029401	0.06818452
PA01	SF03	20.3718327	735283	9364311	9347	13.38289704	0.239910968	0.5287	0.126840929	0.063420464	0.06559716
PA01	SF04	18.7802833	735287	9364308	9347	12.7142118	0.193701723	0.5287	0.102410101	0.05120505	0.053087097
PA01	SF05	18.7802833	735293	9364303	9347	12.7142118	0.193701723	0.5287	0.102410101	0.05120505	0.053074163
PA01	SF06	22.2816921	735296	9364297	9347	14.09500518	0.302274379	0.5287	0.159812464	0.079906232	0.08104516
PA01	SF07	15.9154943	735296	9364295	9347	11.29797999	0.123617748	0.5287	0.065356703	0.032678352	0.033864587
PA01	SF08	12.4140856	735296	9364295	9347	9.081716859	0.060455691	0.5287	0.031962924	0.015981462	0.021627133
PA01	SF09	28.3295799	735297	9364290	9347	15.86118337	0.549864418	0.5287	0.290713318	0.145356659	0.142266422
PA01	SF10	14.9605647	735298	9364287	9347	10.75324638	0.103962169	0.5287	0.054964799	0.027482399	0.029318656
PA01	SF11	12.4140856	735298	9364282	9347	9.081716859	0.060455691	0.5287	0.031962924	0.015981462	0.021627004
PA01	SF12	17.8253536	735298	9364280	9347	12.27509793	0.168477162	0.5287	0.089073875	0.044536938	0.045950632
PA01	SF13	17.8253536	735297	9364279	9347	12.27509793	0.168477162	0.5287	0.089073875	0.044536938	0.045955433
PA01	SF14	19.0985932	735296	9364280	9347	12.8540028	0.202526058	0.5287	0.107075527	0.053537763	0.055566047
PA01	SF15	20.6901426	735295	9364273	9347	13.508008	0.249780218	0.5287	0.132058801	0.066029401	0.06820209
PA01	SF16	16.5521141	735295	9364273	9347	11.6394525	0.137746083	0.5287	0.072826354	0.036413177	0.037492708
PA01	SF17	14.9605647	735295	9364270	9347	10.75324638	0.103962169	0.5287	0.054964799	0.027482399	0.029334701
PA01	SF18	17.1887339	735296	9364266	9347	11.96482625	0.152698206	0.5287	0.080731541	0.040365771	0.041546008
PA01	SF19	20.0535229	735295	9364264	9347	13.25502873	0.230251141	0.5287	0.121733778	0.060866889	0.063137591
PA01	SF20	14.005635	735296	9364260	9347	10.16604118	0.086138486	0.5287	0.045541418	0.022770709	0.025781564
PA01	SF21	17.5070438	735295	9364261	9347	12.12179008	0.160484153	0.5287	0.084847972	0.042423986	0.043726601
PA01	SF22	16.5521141	735296	9364260	9347	11.6394525	0.137746083	0.5287	0.072826354	0.036413177	0.037497986
PA01	SF23	22.2816921	735298	9364258	9347	14.09500518	0.302274379	0.5287	0.159812464	0.079906232	0.081184174

PA01	SF24	25.146481	735300	9364254	9347	15.01154404	0.410033712	0.5287	0.216784824	0.108392412	0.106814732
PA01	SF25	17.1887339	735299	9364252	9347	11.96482625	0.152698206	0.5287	0.080731541	0.040365771	0.041546909
PA01	SF26	28.6478898	735298	9364250	9347	15.93802018	0.56501426	0.5287	0.298723039	0.14936152	0.146889356
PA01	SF27	28.6478898	735308	9364240	9347	15.93802018	0.56501426	0.5287	0.298723039	0.14936152	0.146931922
PA01	SF28	31.1943689	735309	9364237	9347	16.50755283	0.693864814	0.5287	0.366846327	0.183423164	0.185229184
PA01	SF29	21.9633822	735310	9364234	9347	13.98249408	0.291355247	0.5287	0.154039519	0.077019759	0.07860916
PA01	SF30	34.3774677	735306	9364235	9347	17.12246812	0.874085458	0.5287	0.462128982	0.231064491	0.242396883
PA01	SF31	31.5126788	735310	9364230	9347	16.57354683	0.710928405	0.5287	0.375867848	0.187933924	0.190690701
PA01	SF32	21.3267624	735308	9364230	9347	13.75028683	0.270147766	0.5287	0.142827124	0.071413562	0.073423935
PA01	SF33	35.9690172	735306	9364225	9347	17.39618332	0.972189397	0.5287	0.513996534	0.256998267	0.271874491
PA01	SF34	28.6478898	735306	9364213	9347	15.93802018	0.56501426	0.5287	0.298723039	0.14936152	0.147260069
PA01	SF35	27.6929601	735295	9364206	9347	15.7033847	0.520201731	0.5287	0.275030655	0.137515328	0.135136707
PA01	SF36	27.6929601	735289	9364204	9347	15.7033847	0.520201731	0.5287	0.275030655	0.137515328	0.135194256
PA01	SF37	24.8281712	735285	9364202	9347	14.9175378	0.397215668	0.5287	0.210007923	0.105003962	0.104099771
PA01	SF38	27.6929601	735307	9364189	9347	15.7033847	0.520201731	0.5287	0.275030655	0.137515328	0.135232482
PA01	SF39	28.6478898	735308	9364185	9347	15.93802018	0.56501426	0.5287	0.298723039	0.14936152	0.147572901
PA01	SF40	31.8309887	735312	9364181	9347	16.63847692	0.728204882	0.5287	0.385001921	0.192500961	0.197009918
PA01	SF41	34.3774677	735316	9364176	9347	17.12246812	0.874085458	0.5287	0.462128982	0.231064491	0.24357215
PA01	SF42	27.0563404	735327	9364163	9347	15.53984239	0.491387923	0.5287	0.259796795	0.129898398	0.12774738
PA01	SF43	35.9690172	735321	9364159	9347	17.39618332	0.972189397	0.5287	0.513996534	0.256998267	0.273251747
PA01	SF44	19.0985932	735327	9364157	9347	12.8540028	0.202526058	0.5287	0.107075527	0.053537763	0.05567211
PA01	SF45	21.0084525	735321	9364150	9347	13.63044459	0.259859088	0.5287	0.1373875	0.06869375	0.071041398
PA01	SF46	25.146481	735306	9364147	9347	15.01154404	0.410033712	0.5287	0.216784824	0.108392412	0.107482637
PA01	SF47	27.3746502	735299	9364133	9347	15.62235038	0.505688753	0.5287	0.267357643	0.133678822	0.13195809
PA01	SF48	31.5126788	735297	9364160	9347	16.57354683	0.710928405	0.5287	0.375867848	0.187933924	0.192045013
PA01	SF49	31.5126788	735298	9364163	9347	16.57354683	0.710928405	0.5287	0.375867848	0.187933924	0.191981577
PA01	SF50	27.6929601	735298	9364173	9347	15.7033847	0.520201731	0.5287	0.275030655	0.137515328	0.13545038
PA01	SF51	29.2845096	735299	9364179	9347	16.08774105	0.595951256	0.5287	0.315079429	0.157539715	0.156565575

PA01	SF52	19.0985932	735300	9364185	9347	12.8540028	0.202526058	0.5287	0.107075527	0.053537763	0.055714341
PA01	SF53	19.0985932	735295	9364155	9347	12.8540028	0.202526058	0.5287	0.107075527	0.053537763	0.055783046
PA01	SF54	25.4647909	735267	9364140	9347	15.10377046	0.423063315	0.5287	0.223673575	0.111836787	0.110889262
PA01	SF55	25.4647909	735256	9364154	9347	15.10377046	0.423063315	0.5287	0.223673575	0.111836787	0.110836799
PA01	SF56	40.4253556	735243	9364150	9347	18.06567023	1.275268223	0.5287	0.674234309	0.337117155	0.344867051
PA01	SF57	30.2394392	735250	9364155	9347	16.30292491	0.643950903	0.5287	0.340456842	0.170228421	0.171669393
PA01	SF58	30.5577491	735232	9364225	9347	16.37226894	0.66037611	0.5287	0.34914085	0.174570425	0.175815378
PA01	SF59	22.2816921	735238	9364232	9347	14.09500518	0.302274379	0.5287	0.159812464	0.079906232	0.081430536
PA01	SF60	24.8281712	735229	9364236	9347	14.9175378	0.397215668	0.5287	0.210007923	0.105003962	0.10409136
PA01	SF61	29.6028194	735242	9364230	9347	16.16069074	0.611738529	0.5287	0.32342616	0.16171308	0.160990784
PA02	LP01	35.9690172	736015	9364895	10056	17.39618332	0.972189397	0.4856	0.472095171	0.236047586	0.248360578
PA02	LP02	17.8253536	736016	9364897	10056	12.27509793	0.168477162	0.4856	0.08181251	0.040906255	0.043893185
PA02	LP03	33.740848	736018	9364897	10056	17.00706555	0.83633666	0.4856	0.406125082	0.203062541	0.205478439
PA02	LP04	27.3746502	736026	9364889	10056	15.62235038	0.505688753	0.4856	0.245562458	0.122781229	0.118848471
PA02	LP05	33.1042282	736031	9364888	10056	16.8880476	0.79944049	0.4856	0.388208302	0.194104151	0.194294525
PA02	LP06	21.6450723	736039	9364885	10056	13.86761187	0.280646429	0.4856	0.136281906	0.068140953	0.071325052
PA02	LP07	32.1492985	736041	9364884	10056	16.70236813	0.745694289	0.4856	0.362109147	0.181054573	0.178555752
PA02	LP08	36.605637	736043	9364879	10056	17.50013186	1.012924369	0.4856	0.491876074	0.245938037	0.261132594
PA02	LP09	31.8309887	736046	9364873	10056	16.63847692	0.728204882	0.4856	0.353616291	0.176808145	0.17375533
PA02	LP10	18.1436635	736048	9364871	10056	12.42486436	0.176677557	0.4856	0.085794622	0.042897311	0.045961741
PA02	LP11	26.2605656	736048	9364870	10056	15.32686332	0.456563511	0.4856	0.221707241	0.110853621	0.108307548
PA02	LP12	36.9239468	736049	9364866	10056	17.55098668	1.033611977	0.4856	0.501921976	0.250960988	0.267776102
PA02	LP13	16.0746493	736052	9364862	10056	11.38491432	0.127072783	0.4856	0.061706543	0.030853272	0.033388893
PA02	LP14	43.2901446	736054	9364860	10056	18.43376332	1.492216513	0.4856	0.724620339	0.362310169	0.366888374
PA02	LP15	14.5149308	736056	9364858	10056	10.48474775	0.095417424	0.4856	0.046334701	0.023167351	0.026731496
PA02	LP16	25.4647909	736060	9364854	10056	15.10377046	0.423063315	0.4856	0.205439546	0.102719773	0.10131118
PA02	LP17	22.2816921	736061	9364850	10056	14.09500518	0.302274379	0.4856	0.146784438	0.073392219	0.076089773
PA02	LP18	30.2394392	736062	9364848	10056	16.30292491	0.643950903	0.4856	0.312702559	0.156351279	0.151523878

PA02	LP19	33.4225381	736062	9364843	10056	16.94801886	0.817782014	0.4856	0.397114946	0.198557473	0.200348501
PA02	LP20	13.0507053	736063	9364841	10056	9.532244991	0.070129853	0.4856	0.034055056	0.017027528	0.022554402
PA02	LP21	21.3267624	736064	9364842	10056	13.75028683	0.270147766	0.4856	0.131183755	0.065591878	0.06904607
PA02	LP22	21.1676075	736049	9364876	10056	13.69068512	0.26497719	0.4856	0.128672924	0.064336462	0.06782316
PA02	LP23	16.711269	736050	9364875	10056	11.72226516	0.141406758	0.4856	0.068667122	0.034333561	0.036838914
PA02	LP24	23.2366217	736051	9364876	10056	14.4189911	0.336295156	0.4856	0.163304928	0.081652464	0.083214558
PA02	LP25	29.6028194	736051	9364876	10056	16.16069074	0.611738529	0.4856	0.29706023	0.148530115	0.143267673
PA02	LP26	24.5098613	736052	9364877	10056	14.82170164	0.384609082	0.4856	0.18676617	0.093383085	0.093224435
PA02	LP27	16.870424	736053	9364766	10056	11.80408791	0.145118972	0.4856	0.070469773	0.035234886	0.037829186
PA02	LP28	43.9267643	736055	9364877	10056	18.50996042	1.542778865	0.4856	0.749173417	0.374586708	0.371776904
PA02	LP29	22.7591569	736055	9364877	10056	14.25947658	0.31904775	0.4856	0.154929587	0.077464794	0.079583855
PA02	LP30	24.9554951	736062	9364877	10056	14.95535704	0.402317505	0.4856	0.19536538	0.09768269	0.096864472
PA02	LP31	18.9394382	736065	9364875	10056	12.7845036	0.198087841	0.4856	0.096191456	0.048095728	0.05150846
PA02	LP32	20.6901426	736068	9364874	10056	13.508008	0.249780218	0.4856	0.121293274	0.060646637	0.064282724
PA02	LP33	24.5098613	736072	9364872	10056	14.82170164	0.384609082	0.4856	0.18676617	0.093383085	0.093197973
PA02	LP34	36.9239468	736073	9364871	10056	17.55098668	1.033611977	0.4856	0.501921976	0.250960988	0.267282226
PA02	LP35	18.4619734	736075	9364872	10056	12.57120003	0.185085647	0.4856	0.08987759	0.044938795	0.048080847
PA02	LP36	25.4647909	736077	9364872	10056	15.10377046	0.423063315	0.4856	0.205439546	0.102719773	0.101159651
PA02	LP37	18.6211284	736078	9364870	10056	12.64311487	0.189367669	0.4856	0.09195694	0.04597847	0.049197537
PA02	LP38	21.9633822	736080	9364870	10056	13.98249408	0.291355247	0.4856	0.141482108	0.070741054	0.073628087
PA02	LP39	42.016905	736082	9364869	10056	18.27545419	1.393657509	0.4856	0.676760087	0.338380043	0.353409908
PA02	LP40	31.5126788	736089	9364864	10056	16.57354683	0.710928405	0.4856	0.345226834	0.172613417	0.16871193
PA02	LP41	14.3239449	736090	9364864	10056	10.36674482	0.091877137	0.4856	0.044615538	0.022307769	0.025997365
PA02	LP42	20.3718327	736092	9364863	10056	13.38289704	0.239910968	0.4856	0.116500766	0.058250383	0.061909451
PA02	LP43	26.1014107	736092	9364861	10056	15.28307576	0.449757577	0.4856	0.218402279	0.10920114	0.106771734
PA02	LP44	19.8943679	736094	9364859	10056	13.19003379	0.225499696	0.4856	0.109502652	0.054751326	0.058402778
PA02	LP45	14.005635	736095	9364858	10056	10.16604118	0.086138486	0.4856	0.041828849	0.020914424	0.024989537
PA02	LP46	25.146481	736097	9364856	10056	15.01154404	0.410033712	0.4856	0.199112371	0.099556185	0.098477558

PA02	LP47	29.2845096	736097	9364855	10056	16.08774105	0.595951256	0.4856	0.28939393	0.144696965	0.139387204
PA02	LP48	18.1436635	736097	9364859	10056	12.42486436	0.176677557	0.4856	0.085794622	0.042897311	0.045802784
PA02	LP49	29.9211293	736098	9364852	10056	16.23240861	0.627738393	0.4856	0.304829764	0.152414882	0.147144653
PA02	LP50	22.7591569	736100	9364848	10056	14.25947658	0.31904775	0.4856	0.154929587	0.077464794	0.079591362
PA02	LP51	26.4197206	736099	9364853	10056	15.37024652	0.463422415	0.4856	0.225037925	0.112518962	0.109691514
PA02	LP52	21.9633822	736098	9364850	10056	13.98249408	0.291355247	0.4856	0.141482108	0.070741054	0.07364973
PA02	LP53	28.01127	736099	9364848	10056	15.78298342	0.53492693	0.4856	0.259760517	0.129880259	0.125324003
PA02	LP54	19.735213	736099	9364847	10056	13.12431698	0.220800528	0.4856	0.107220736	0.053610368	0.057241137
PA02	LP55	28.4887348	736101	9364844	10056	15.89976999	0.557412791	0.4856	0.270679651	0.135339826	0.130453453
PA02	LP56	36.605637	736103	9364840	10056	17.50013186	1.012924369	0.4856	0.491876074	0.245938037	0.261264072
PA02	LP57	30.2394392	736109	9364832	10056	16.30292491	0.643950903	0.4856	0.312702559	0.156351279	0.151365463
PA02	LP58	14.9605647	736111	9364829	10056	10.75324638	0.103962169	0.4856	0.050484029	0.025242015	0.028227732
PA02	LP59	33.4225381	736111	9364828	10056	16.94801886	0.817782014	0.4856	0.397114946	0.198557473	0.200057018
PA02	LP60	45.2000039	736116	9364826	10056	18.65679602	1.646469803	0.4856	0.799525736	0.399762868	0.3797251
PA02	LP61	24.5098613	736121	9364821	10056	14.82170164	0.384609082	0.4856	0.18676617	0.093383085	0.093316312
PA02	LP62	26.1014107	736122	9364821	10056	15.28307576	0.449757577	0.4856	0.218402279	0.10920114	0.106918131
PA02	LP63	33.4225381	736124	9364820	10056	16.94801886	0.817782014	0.4856	0.397114946	0.198557473	0.200059691
PA02	LP64	34.3774677	736127	9364819	10056	17.12246812	0.874085458	0.4856	0.424455898	0.212227949	0.217502885
PA02	LP65	44.5633841	736131	9364818	10056	18.58428205	1.594196595	0.4856	0.774141866	0.387070933	0.376259332
PA02	LP66	17.8253536	736131	9364817	10056	12.27509793	0.168477162	0.4856	0.08181251	0.040906255	0.04355808
PA05	CG01	27.3746502	738980	9365228	2680.5	15.62235038	0.505688753	0.282	0.142604228	0.071302114	0.070359287
PA05	CG02	23.8732415	738981	9365229	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052698289
PA05	CG03	26.7380305	738981	9365223	2680.5	15.45582135	0.47729917	0.282	0.134598366	0.067299183	0.067089658
PA05	CG04	19.0985932	738980	9365222	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027036422
PA05	CG05	17.5070438	738983	9365219	2680.5	12.12179008	0.160484153	0.282	0.045256531	0.022628266	0.021636942
PA05	CG06	26.1014107	738979	9365209	2680.5	15.28307576	0.449757577	0.282	0.126831637	0.063415818	0.063921473
PA05	CG07	19.4169031	738982	9365209	2680.5	12.99067253	0.211558911	0.282	0.059659613	0.029829806	0.028417295
PA05	CG08	14.6422548	738982	9365204	2680.5	10.56242889	0.097818158	0.282	0.02758472	0.01379236	0.016717842

PA05	CG09	23.8732415	738982	9365196	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052739015
PA05	CG10	18.4619734	738982	9365197	2680.5	12.57120003	0.185085647	0.282	0.052194153	0.026097076	0.02457765
PA05	CG11	18.1436635	738981	9365194	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.023505396
PA05	CG12	16.5521141	738986	9365190	2680.5	11.6394525	0.137746083	0.282	0.038844395	0.019422198	0.019469049
PA05	CG13	18.1436635	738985	9365188	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.023497667
PA05	CG14	18.4619734	738986	9365186	2680.5	12.57120003	0.185085647	0.282	0.052194153	0.026097076	0.024569963
PA05	CG15	17.8253536	738985	9365180	2680.5	12.27509793	0.168477162	0.282	0.04751056	0.02375528	0.022522254
PA05	CG16	24.5098613	738986	9365183	2680.5	14.82170164	0.384609082	0.282	0.108459761	0.054229881	0.056027257
PA05	CG17	24.8281712	738981	9365162	2680.5	14.9175378	0.397215668	0.282	0.112014818	0.056007409	0.057671158
PA05	CG18	21.9633822	738982	9365172	2680.5	13.98249408	0.291355247	0.282	0.08216218	0.04108109	0.042172685
PA05	CG19	20.3718327	738982	9365177	2680.5	13.38289704	0.239910968	0.282	0.067654893	0.033827446	0.033146135
PA05	CG20	25.146481	738980	9365180	2680.5	15.01154404	0.410033712	0.282	0.115629507	0.057814753	0.05923263
PA05	CG21	19.735213	738980	9365186	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.029911689
PA05	CG22	27.0563404	738977	9365188	2680.5	15.53984239	0.491387923	0.282	0.138571394	0.069285697	0.068806935
PA05	CG23	20.3718327	738974	9365197	2680.5	13.38289704	0.239910968	0.282	0.067654893	0.033827446	0.03316388
PA05	CG24	24.8281712	738976	9365200	2680.5	14.9175378	0.397215668	0.282	0.112014818	0.056007409	0.057615048
PA05	CG25	16.870424	738974	9365210	2680.5	11.80408791	0.145118972	0.282	0.04092355	0.020461775	0.020132576
PA05	CG26	25.7831008	738973	9365218	2680.5	15.19426545	0.436304573	0.282	0.12303789	0.061518945	0.062327111
PA05	CG27	20.0535229	738973	9365223	2680.5	13.25502873	0.230251141	0.282	0.064930822	0.032465411	0.031500438
PA05	CG28	26.7380305	738967	9365225	2680.5	15.45582135	0.47729917	0.282	0.134598366	0.067299183	0.067096934
PA05	CG29	22.2816921	738974	9365215	2680.5	14.09500518	0.302274379	0.282	0.085241375	0.042620687	0.043995914
PA05	CG30	23.8732415	738964	9365215	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052740961
PA05	CG31	20.6901426	738963	9365218	2680.5	13.508008	0.249780218	0.282	0.070438021	0.035219011	0.034917849
PA05	CG32	19.4169031	738963	9365210	2680.5	12.99067253	0.211558911	0.282	0.059659613	0.029829806	0.028469316
PA05	CG33	22.9183118	738963	9365201	2680.5	14.31318818	0.324744192	0.282	0.091577862	0.045788931	0.047623406
PA05	CG34	19.735213	738966	9365195	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.029949745
PA05	CG35	23.2366217	738966	9365180	2680.5	14.4189911	0.336295156	0.282	0.094835234	0.047417617	0.049387837
PA05	CG36	17.8253536	738965	9365183	2680.5	12.27509793	0.168477162	0.282	0.04751056	0.02375528	0.022561057

PA05	CG37	19.735213	738964	9365181	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.029958504
PA05	CG38	20.6901426	738966	9365180	2680.5	13.508008	0.249780218	0.282	0.070438021	0.035219011	0.034922554
PA05	CG39	22.9183118	738967	9365176	2680.5	14.31318818	0.324744192	0.282	0.091577862	0.045788931	0.047639725
PA05	CG40	21.6450723	738968	9365174	2680.5	13.86761187	0.280646429	0.282	0.079142293	0.039571147	0.040362955
PA05	CG41	25.7831008	738969	9365167	2680.5	15.19426545	0.436304573	0.282	0.12303789	0.061518945	0.062430478
PA05	CG42	23.5549316	738972	9365163	2680.5	14.5226851	0.348057004	0.282	0.098152075	0.049076038	0.05111302
PA05	CG43	19.735213	738965	9365160	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.029960258
PA05	CG44	17.5070438	738974	9365158	2680.5	12.12179008	0.160484153	0.282	0.045256531	0.022628266	0.021660552
PA05	CG45	24.8281712	738971	9365155	2680.5	14.9175378	0.397215668	0.282	0.112014818	0.056007409	0.057693551
PA05	CG46	23.2366217	738959	9365148	2680.5	14.4189911	0.336295156	0.282	0.094835234	0.047417617	0.049435329
PA05	CG47	24.5098613	738953	9365143	2680.5	14.82170164	0.384609082	0.282	0.108459761	0.054229881	0.056127707
PA05	CG48	19.735213	738959	9365150	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.029979659
PA05	CG49	22.2816921	738988	9365161	2680.5	14.09500518	0.302274379	0.282	0.085241375	0.042620687	0.044003833
PA05	CG50	18.4619734	738984	9365159	2680.5	12.57120003	0.185085647	0.282	0.052194153	0.026097076	0.024578263
PA05	CG51	24.1915514	738981	9365162	2680.5	14.72398364	0.37221385	0.282	0.104964306	0.052482153	0.054438025
PA05	CG52	27.3746502	738983	9365159	2680.5	15.62235038	0.505688753	0.282	0.142604228	0.071302114	0.070535268
PA05	CG53	30.2394392	738981	9365156	2680.5	16.30292491	0.643950903	0.282	0.181594155	0.090797077	0.087152237
PA05	CG54	23.8732415	738978	9365152	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052801846
PA05	CG55	19.0985932	738976	9365154	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027057997
PA05	CG56	22.2816921	738973	9365149	2680.5	14.09500518	0.302274379	0.282	0.085241375	0.042620687	0.044049022
PA05	CG57	24.5098613	738969	9365147	2680.5	14.82170164	0.384609082	0.282	0.108459761	0.054229881	0.056102308
PA05	CG58	27.6929601	738965	9365144	2680.5	15.7033847	0.520201731	0.282	0.146696888	0.073348444	0.072285886
PA05	CG59	28.9661997	738962	9365142	2680.5	16.01352828	0.580376519	0.282	0.163666178	0.081833089	0.079430424
PA05	CG60	24.8281712	738951	9365134	2680.5	14.9175378	0.397215668	0.282	0.112014818	0.056007409	0.05775005
PA05	CG61	24.5098613	738951	9365141	2680.5	14.82170164	0.384609082	0.282	0.108459761	0.054229881	0.056133185
PA05	CG62	17.5070438	738954	9365145	2680.5	12.12179008	0.160484153	0.282	0.045256531	0.022628266	0.021698173
PA05	CG63	18.7802833	738956	9365155	2680.5	12.7142118	0.193701723	0.282	0.054623886	0.027311943	0.025824778
PA05	CG64	25.146481	738960	9365154	2680.5	15.01154404	0.410033712	0.282	0.115629507	0.057814753	0.059298088

PA05	CG65	18.1436635	738960	9365159	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.023554707
PA05	CG66	18.4619734	738954	9365164	2680.5	12.57120003	0.185085647	0.282	0.052194153	0.026097076	0.024646624
PA05	CG67	21.0084525	738953	9365164	2680.5	13.63044459	0.259859088	0.282	0.073280263	0.036640131	0.036750506
PA05	CG68	26.7380305	738957	9365171	2680.5	15.45582135	0.47729917	0.282	0.134598366	0.067299183	0.06723106
PA05	CG69	20.0535229	738949	9365175	2680.5	13.25502873	0.230251141	0.282	0.064930822	0.032465411	0.031583018
PA05	CG70	16.5521141	738951	9365175	2680.5	11.6394525	0.137746083	0.282	0.038844395	0.019422198	0.019518186
PA05	CG71	16.870424	738953	9365179	2680.5	11.80408791	0.145118972	0.282	0.04092355	0.020461775	0.020167681
PA05	CG72	22.9183118	738952	9365182	2680.5	14.31318818	0.324744192	0.282	0.091577862	0.045788931	0.047663841
PA05	CG73	19.735213	738949	9365181	2680.5	13.12431698	0.220800528	0.282	0.062265749	0.031132874	0.030001418
PA05	CG74	19.0985932	738947	9365186	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027128659
PA05	CG75	19.0985932	738947	9365181	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027129491
PA05	CG76	27.3746502	738946	9365182	2680.5	15.62235038	0.505688753	0.282	0.142604228	0.071302114	0.07050939
PA05	CG77	22.2816921	738951	9365189	2680.5	14.09500518	0.302274379	0.282	0.085241375	0.042620687	0.044070412
PA05	CG78	19.0985932	738957	9365190	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027101772
PA05	CG79	21.0084525	738953	9365200	2680.5	13.63044459	0.259859088	0.282	0.073280263	0.036640131	0.036735054
PA05	CG80	18.1436635	738953	9365222	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.023561512
PA05	CG81	23.2366217	738951	9365201	2680.5	14.4189911	0.336295156	0.282	0.094835234	0.047417617	0.049392269
PA05	CG82	25.7831008	738942	9365201	2680.5	15.19426545	0.436304573	0.282	0.12303789	0.061518945	0.062387725
PA05	CG83	18.1436635	738956	9365205	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.023557262
PA05	CG84	25.7831008	738947	9365206	2680.5	15.19426545	0.436304573	0.282	0.12303789	0.061518945	0.062373493
PA05	CG85	17.5070438	738941	9365209	2680.5	12.12179008	0.160484153	0.282	0.045256531	0.022628266	0.021713695
PA05	CG86	19.0985932	738937	9365208	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027151275
PA05	CG87	18.7802833	738940	9365213	2680.5	12.7142118	0.193701723	0.282	0.054623886	0.027311943	0.025855673
PA05	CG88	25.4647909	738943	9365211	2680.5	15.10377046	0.423063315	0.282	0.119303855	0.059651927	0.060791903
PA05	CG89	24.1915514	738950	9365212	2680.5	14.72398364	0.37221385	0.282	0.104964306	0.052482153	0.054408844
PA05	CG90	27.6929601	738953	9365215	2680.5	15.7033847	0.520201731	0.282	0.146696888	0.073348444	0.072101783
PA05	CG91	19.0985932	738948	9365214	2680.5	12.8540028	0.202526058	0.282	0.057112348	0.028556174	0.027121433
PA05	CG92	19.4169031	738942	9365209	2680.5	12.99067253	0.211558911	0.282	0.059659613	0.029829806	0.028527306

PA05	CG93	27.6929601	738951	9365215	2680.5	15.7033847	0.520201731	0.282	0.146696888	0.073348444	0.072103697
PA05	CG94	23.2366217	738957	9365214	2680.5	14.4189911	0.336295156	0.282	0.094835234	0.047417617	0.0493675
PA05	CG95	23.8732415	738964	9365214	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052742243
PA05	CG96	24.5098613	738969	9365210	2680.5	14.82170164	0.384609082	0.282	0.108459761	0.054229881	0.056006941
PA05	CG97	21.0084525	738969	9365209	2680.5	13.63044459	0.259859088	0.282	0.073280263	0.036640131	0.036684634
PA05	CG98	20.0535229	738967	9365204	2680.5	13.25502873	0.230251141	0.282	0.064930822	0.032465411	0.031522783
PA05	CG99	23.8732415	738968	9365201	2680.5	14.62433003	0.360029862	0.282	0.101528421	0.050764211	0.052753106
PA05	CG100	20.0535229	738973	9365198	2680.5	13.25502873	0.230251141	0.282	0.064930822	0.032465411	0.031506713
PA05	CG101	18.1436635	738979	9365195	2680.5	12.42486436	0.176677557	0.282	0.049823071	0.024911536	0.02350952
PA03	MS01	26.7380305	739860	9361782	2066	15.45582135	0.47729917	0.3859	0.18418975	0.092094875	0.100353581
PA03	MS02	12.7323955	739859	9361781	2066	9.309887161	0.065193518	0.3859	0.025158179	0.012579089	0.018548384
PA03	MS03	14.3239449	739960	9361774	2066	10.36674482	0.091877137	0.3859	0.035455387	0.017727694	0.020215473
PA03	MS04	24.1915514	739871	9361777	2066	14.72398364	0.37221385	0.3859	0.143637325	0.071818662	0.079451723
PA03	MS05	10.5042263	739875	9361755	2066	7.58217331	0.036137791	0.3859	0.013945574	0.006972787	0.008734209
PA03	MS06	20.3718327	739881	9361766	2066	13.38289704	0.239910968	0.3859	0.092581642	0.046290821	0.041225381
PA03	MS07	23.5549316	739990	9361773	2066	14.5226851	0.348057004	0.3859	0.134315198	0.067157599	0.072639449
PA03	MS08	29.9211293	739996	9361774	2066	16.23240861	0.627738393	0.3859	0.242244246	0.121122123	0.122286102
PA03	MS09	20.6901426	739905	9361748	2066	13.508008	0.249780218	0.3859	0.096390186	0.048195093	0.043738883
PA03	MS10	18.1436635	739900	9361752	2066	12.42486436	0.176677557	0.3859	0.068179869	0.034089935	0.028630992
PA03	MS11	30.2394392	739901	9361759	2066	16.30292491	0.643950903	0.3859	0.248500654	0.124250327	0.124955221
PA03	MS12	26.7380305	739912	9361777	2066	15.45582135	0.47729917	0.3859	0.18418975	0.092094875	0.10025191
PA03	MS13	16.870424	739918	9361773	2066	11.80408791	0.145118972	0.3859	0.056001411	0.028000706	0.024708937
PA03	MS14	16.5521141	739923	9361777	2066	11.6394525	0.137746083	0.3859	0.053156213	0.026578107	0.023956041
PA03	MS15	25.7831008	739912	9361773	2066	15.19426545	0.436304573	0.3859	0.168369935	0.084184967	0.093097918
PA03	MS16	13.6873251	739906	9361775	2066	9.960162215	0.08060154	0.3859	0.031104134	0.015552067	0.019491015
PA03	MS17	28.3295799	739913	9361765	2066	15.86118337	0.549864418	0.3859	0.212192679	0.106096339	0.111447506
PA03	MS18	13.3690152	739890	9361757	2066	9.748949976	0.075265585	0.3859	0.029044989	0.014522495	0.019164593
PA03	MS19	29.9211293	739892	9361757	2066	16.23240861	0.627738393	0.3859	0.242244246	0.121122123	0.122691901

PA03	MS20	16.2338042	739981	9361752	2066	11.47079342	0.130579147	0.3859	0.050390493	0.025195246	0.02323882
PA03	MS21	17.1887339	739895	9361744	2066	11.96482625	0.152698206	0.3859	0.058926238	0.029463119	0.025575391
PA03	MS22	16.5521141	739894	9361742	2066	11.6394525	0.137746083	0.3859	0.053156213	0.026578107	0.024000227
PA03	MS23	10.5042263	739896	9361746	2066	7.58217331	0.036137791	0.3859	0.013945574	0.006972787	0.008694019
PA03	MS24	17.1887339	739903	9361743	2066	11.96482625	0.152698206	0.3859	0.058926238	0.029463119	0.0255655
PA03	MS25	20.6901426	739904	9361744	2066	13.508008	0.249780218	0.3859	0.096390186	0.048195093	0.043746047
PA03	MS26	17.8253536	739905	9361750	2066	12.27509793	0.168477162	0.3859	0.065015337	0.032507668	0.027490533
PA03	MS27	36.605637	739912	9361758	2066	17.50013186	1.012924369	0.3859	0.390887514	0.195443757	0.187265196
PA03	MS28	26.1014107	739874	9361783	2066	15.28307576	0.449757577	0.3859	0.173561449	0.086780724	0.09561415
PA03	MS29	24.1915514	739878	9361778	2066	14.72398364	0.37221385	0.3859	0.143637325	0.071818662	0.079424398
PA03	MS30	10.5042263	739880	9361773	2066	7.58217331	0.036137791	0.3859	0.013945574	0.006972787	0.008737285
PA03	MS31	20.6901426	739860	9361772	2066	13.508008	0.249780218	0.3859	0.096390186	0.048195093	0.043923479
PA03	MS32	30.2394392	739864	9361774	2066	16.30292491	0.643950903	0.3859	0.248500654	0.124250327	0.124994427
PA04	LF01	14.3239449	738124	9360776	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016428176
PA04	LF02	12.7323955	738127	9360774	1026.5	9.309887161	0.065193518	0.3354	0.021865906	0.010932953	0.014687554
PA04	LF03	33.740848	738137	9360793	1026.5	17.00706555	0.83633666	0.3354	0.280507316	0.140253658	0.139217975
PA04	LF04	38.1971864	738136	9360797	1026.5	17.74730297	1.118497128	0.3354	0.375143937	0.187571968	0.19040191
PA04	LF05	41.3802853	738129	9360796	1026.5	18.19318864	1.345660626	0.3354	0.451334574	0.225667287	0.219042322
PA04	LF06	14.3239449	738130	9360810	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016420728
PA04	LF07	19.0985932	738123	9360810	1026.5	12.8540028	0.202526058	0.3354	0.06792724	0.03396362	0.027851632
PA04	LF08	12.7323955	738118	9360810	1026.5	9.309887161	0.065193518	0.3354	0.021865906	0.010932953	0.014691126
PA04	LF09	7.95774716	738105	9360813	1026.5	5.209250785	0.014249358	0.3354	0.004779235	0.002389617	0.002389617
PA04	LF10	12.7323955	738104	9360813	1026.5	9.309887161	0.065193518	0.3354	0.021865906	0.010932953	0.014698496
PA04	LF11	35.6507073	738099	9360808	1026.5	17.34305698	0.952141981	0.3354	0.31934842	0.15967421	0.161544425
PA04	LF12	14.3239449	738092	9360792	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.01644757
PA04	LF13	14.9605647	738092	9360784	1026.5	10.75324638	0.103962169	0.3354	0.034868911	0.017434456	0.017157315
PA04	LF14	12.7323955	738100	9360780	1026.5	9.309887161	0.065193518	0.3354	0.021865906	0.010932953	0.014701761
PA04	LF15	14.3239449	738113	9360775	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016435489

PA04	LF16	14.3239449	738090	9360786	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016449516
PA04	LF17	14.3239449	738089	9360786	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016450179
PA04	LF18	17.1887339	738084	9360785	1026.5	11.96482625	0.152698206	0.3354	0.051214978	0.025607489	0.021193873
PA04	LF19	14.9605647	738081	9360786	1026.5	10.75324638	0.103962169	0.3354	0.034868911	0.017434456	0.017166017
PA04	LF20	14.6422548	738082	9360789	1026.5	10.56242889	0.097818158	0.3354	0.03280821	0.016404105	0.01679249
PA04	LF21	15.2788746	738086	9360881	1026.5	10.93934713	0.110309749	0.3354	0.03699789	0.018498945	0.017563446
PA04	LF22	14.3239449	738102	9360814	1026.5	10.36674482	0.091877137	0.3354	0.030815592	0.015407796	0.016438689
PA04	LF23	15.9154943	738086	9360813	1026.5	11.29797999	0.123617748	0.3354	0.041461393	0.020730696	0.01853049



Figura 15. Medición de altura de árboles de laurel



Figura 16. Georreferenciación de los árboles de laurel



Figura 17. Apunte de datos de las mediciones dasométricas realizadas a los árboles de laurel



Figura 18. Medición de la circunferencia del fuste del laurel



Figura 19. Extracción de muestras de madera del fuste de los árboles de laurel



Figura 20. Extracción de muestras con el barreno de Pressler



Figura 21. Manejo del barreno de Pressler



Figura 22. Manejo del barreno de Pressler



Figura 23. Balanza analítica utilizada para pesado de muestras



Figura 24. Proceso de pesado de muestras



Figura 25. Proceso de medición de muestras



Figura 26. Medición y toma de datos de cada una de las muestras