

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



**“CARBONO TOTAL ALMACENADO EN UNA PLANTACIÓN DE**  
***Theobroma cacao* L. EN CONDICIONES DE CEJA DE**  
**SELVA - BELLAVISTA - JAÉN”**

**Presentada por:**

**GEOFFREY LIN MONDRAGÓN GIL**

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

**Jaén – Perú**  
**2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

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



*“Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad”*

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

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

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

Con la finalidad de llevar a cabo la Sustentación de Informe de Tesis Titulado: **“Carbono total almacenado en una plantación de *Teobroma cacao* L. en condiciones de Ceja de Selva- Bellavista - Jaén”** presentado por el tesista: **Mondragón Gil Geoffrey Lin**.

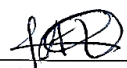
Los Miembros del Jurado, presencian la sustentación del Informe de Tesis denominado: **“ Carbono total almacenado en una plantación de *Teobroma cacao* L. en condiciones de Ceja de Selva- Bellavista - Jaén”**, luego se procede a realizar las preguntas correspondientes para ser contestadas por el tesista, los Miembros del Jurado de Tesis luego de escuchar la defensa del tesista, deliberan y deciden aprobar la sustentación, siendo el calificativo final: QUINCE (15) BUENA

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

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

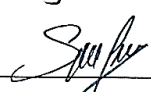
Presidente

Nombre: Dra. Ing. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

Firma 

Secretario

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

Firma 

Vocal

Nombre: Ing. M. Sc. Wagner Colmenares Mayanga

Firma 

## **Dedicatoria**

A mis padres Santos Mondragón  
Puelles y Aurora Leonila Gil Peña,  
mi hermana Geraldine.

## **Agradecimiento**

A Dios, mis padres por todo su apoyo, Dr. Segundo Edilberto Vergara Medrano co-asesor, Tec.Lauriano Mendoza Narciso por facilitarme el acceso al área de estudio, Dr. Manuel Antonio Canto Sáenz, Ing. Jorge Delgado Soto, y a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de la presente investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	i
Índice de cuadros .....	iii
Índice de figuras.....	iv
Índice de anexos.....	v
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
I. INTRODUCCIÓN .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. ....	4
2.2. BASES CONCEPTUALES .....	6
2.2.1. Biodiversidad.....	6
2.2.2. Protocolo de Kioto .....	6
2.2.3. Desarrollo Sostenible.....	7
2.2.4. Generalidades del cultivo del cacao. ....	7
2.2.5. Sistema agroforestal.....	10
2.2.6. Monocultivo.....	11
2.2.7. Biomasa. ....	11
2.2.8. Biomasa aérea. ....	11
2.2.9. Hojarasca. ....	12
2.2.10. El ciclo Biogeoquímico. ....	12
2.2.11. El suelo. ....	12
2.2.12. Carbono Orgánico del suelo. ....	12
2.2.13. Importancia de la materia orgánica en el suelo. ....	12
2.2.14. Fijación de carbono en el suelo. ....	13
2.2.15. Método de Walkley y Black. ....	13
2.2.16. Método del cilindro de volumen conocido. ....	13
2.2.17. Carbono fijado. ....	13
2.2.18. Almacenamiento de carbono. ....	13
2.2.19. Dióxido de carbono.....	14

2.2.21.Ecuación alométrica.....	14
2.2.22.Efecto invernadero.....	14
2.2.23.Ciclo del Carbono.....	14
2.2.24.Fotosíntesis.....	14
2.2.25.Ciclo de la fijación del carbono de la fotosíntesis.....	15
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN:.....	16
3.1.1.Ubicación Política.....	16
3.1.2.Clima:.....	16
3.1.3.Suelo:.....	16
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS:.....	17
3.3. METODOLOGÍA.....	17
3.3.1.Fase inicial.....	18
3.3.2.Fase de campo.....	21
3.3.3.Fase de laboratorio.....	28
3.3.4.Fase de gabinete Final.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
4.1.Calculo de la densidad aparente del suelo.....	36
4.2.Evaluación de la Biomasa Aérea del cacaotal.....	37
4.3.Evaluación de la necromasa (hojarasca).....	38
4.4.Evaluación del carbono almacenado en la biomasa total.....	39
4.5.Evaluación del carbono fijado en el suelo.....	41
4.6.Flujo anual de carbono.....	43
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>49</b>

## Índice de cuadros

Cuadro 1: Cálculo de la densidad aparente del suelo. ....	36
Cuadro 2: Cantidad de biomasa en la parte aérea del cacaotal.....	37
Cuadro 3: Cantidad de biomasa acumulada en la hojarasca.....	38
Cuadro 4: Carbono almacenado en la biomasa del cacaotal. ....	39
Cuadro 5: Carbono fijado en el suelo. ....	41
Cuadro 6:Flujo anual de carbono.....	43

## Índice de figuras

Figura 1: Mapa del área de estudio.....	19
Figura 2: Croquis de ubicación de la parcela cacaoteta el Paraíso. Fuente Google Earth. .....	20
Figura 3: Delimitación de la hectárea de plantación de <i>Teobroma Cacao</i> L. del clon CCN-51.....	21
Figura 4: Altura a la que se midió la circunferencia del tronco de las plantas de cacao.	22
Figura 5: Medición del diámetro del tallo. a) Determinación de la altura del tronco a 30cm del suelo, b) medición de la circunferencia del tronco a una altura de 30 cm del suelo.....	22
Figura 6: Obtención de las muestras de hojarasca. a) Lanzamiento del marco de madera para la delimitación del área de recolección de la muestra de hojarasca, b) recolección de las muestras de hojarasca, c) Muestras de hojarasca recolectadas. ....	23
Figura 7: Pesado de las muestras de hojarasca. ....	24
Figura 8: Pesado de la muestras de hojarasca 200 g. ....	24
Figura 9: Muestras de hojarasca lista para ser introducida al horno para su secado. ....	24
Figura 10: Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente. a) Calicata para la toma de la muestra de suelo, b) introducción del cilindro de volumen conocido para obtener la muestra de suelo. ....	25
Figura 11: Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente. a) extracción de la muestra de suelo, b) recolección de la muestra de suelo.....	26
Figura 12: a) muestras de suelo en el laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, b) pesado de las muestras.....	26
Figura 13: Introducción de tubo metalico para la toma de la muestra de suelo a una profundidad de 20 cm. ....	27
Figura 14: Muestras de suelo recolectadas. ....	27
Figura 15:Secado de las muestras de biomasa muerta. a) Secado de la muestra de hojarasca (200 gr) en la estufa, b) estufa a 60° C de temperatura . ....	28
Figura 16: a) Secado de las muestras de suelo en la estufa , b) pesado de las muestras de suelo.....	28
Figura 17:Secado de la muestra de suelo para el análisis.....	29
Figura 18:Acondicionamiento de las muestras de suelo secas. ....	29
Figura 19: Reactivos que se utilizaron para la aplicación del Método de Walkley Black. .....	31
Figura 20: Gráfica de la biomasa acumulada en la parte aérea y en la hojarasca. ....	39
Figura 21: Gráfica donde se presenta de manera general la cantidad de reservas de carbono en las variables estudiadas (Biomasa y suelo).....	42



## Índice de anexos

Anexo 1: Coordenadas UTM del área de estudio(hectárea de cacaotal delimitada) en la parcela cacaotera el Paraíso distrito de Santa Cruz provincia de Bellavista. ....	49
Anexo 2: Formato para la recolección de datos en campo para la estimación de carbono en la biomasa aérea de las plantas de cacao para el proyecto de tesis” tesis “Estimación de carbono total almacenado en una plantación de Theobroma cacao L. en condiciones de ceja de selva” .....	50
Anexo 3: Formato para la toma de datos de las muestras de biomasa muerta de cacao para el proyecto de tesis “Estimación de carbono total almacenado en una plantación de Theobroma cacao L. en condiciones de ceja de selva .....	53
Anexo 4: Coordenadas de las muestras de suelo (Densidad aparente) .....	53
Anexo 5: Coordenadas de la muestras de suelo (Walkley y Black).....	53
Anexo 6: Panel fotográfico.....	54
Anexo 7:Certificado del análisis del suelo por el método de Walkley y Black emitido por el Laboratorio OIKOSLAB.SAC .....	57



## RESUMEN

En este estudio se evaluó el carbono total almacenado en una plantación de *Theobroma cacao* L. en una hectárea de cacaotal establecida en sistema de monocultivo, en condiciones de Ceja de Selva en el Centro Poblado de Santa Cruz del Distrito de Bellavista perteneciente a la provincia de Jaén, cuya altitud es 480 m.s.n.m para ello se realizó la delimitación de la parcela de muestreo utilizando el GPS Garmin, facilitado por la facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, en la parcela de muestreo se tomaron datos correspondientes a la investigación como la circunferencia del tronco a una altura de 30 cm del suelo y peso fresco de las muestras de hojarasca así mismo se tomaron muestras de suelo para calcular la densidad aparente de la hectárea estudiada y también se tomaron muestras de suelo para determinar el porcentaje de carbono fijado en suelo. (Andrade, Figueroa, y Silva, 2013).

Para dar respuesta a los objetivos de la investigación se procedió al cálculo de la biomasa aérea haciendo empleo de la fórmula planteada por (Andrade *et al.*, 2006), para la biomasa muerta (hojarasca y necromasa) se trabajó con la metodología de (ICRAF, 2009), y para los análisis de suelo se trabajó con el método del cilindro de volumen conocido para calcular la densidad aparente y el método de Walkley y Black para determinar el porcentaje de carbono fijado en el suelo. Los resultados muestran que la cantidad de reserva de carbono en la biomasa son 22.68 t C/ ha en la biomasa ; 13.6 t C/ ha en la necromasa ; 17.73 t C/ha almacenado en el suelo, haciendo un total acumulado de 54.02 t C /ha. El flujo de fijación de carbono del sistema monocultivo es de 6.04 t C/ha / año.

**Palabras claves:** Sistemas agroforestales, monocultivo, *Theobroma cacao* L., carbono fijado, biomasa.

## ABSTRACT

In this study, the total carbon stored in a plantation of *Theobroma cacao* L. was evaluated in a hectare of cacaotal established in the cultivation system, in the conditions of the Selva de Selva in the Populated Center of Santa Cruz of the District of Bellavista belonging to the province of Jaén, whose altitude is 480 masl, the delimitation of the sampling plot was made using the Garmin GPS, facilitated by the Faculty of Forestry and Environmental Engineering of the National University of Jaén, in the sampling plot data corresponding to the Investigation as the trunk circumference at a height of 30 cm of the soil and fresh weight of the litter samples also soil samples were taken to calculate the apparent density of the hectare studied and also soil samples were taken to determine the percentage of carbon fixed in soil. (Andrade, Figueroa, and Silva, 2013).

In order to respond to the research objectives, the aerial biomass was calculated using the silver formula by (Andrade et al., 2006), for the dead biomass (litter and necromass) the methodology was used (ICRAF , 2009), and for the soil analyzes, we worked with the cylinder method of known volume to calculate the bulk density and the Walkley and Black method to determine the percentage of carbon fixed in the soil. The results show that the amount of carbon reserve in the biomass is 22.68 t C / ha in the biomass; 13.6 t C / ha in the necromass; 17.73 t C / ha stored in the ground, making an accumulated total of 54.02 t C / ha. The carbon fixation flow of the monoculture system is 6.04 t C / ha / year.

**Key words:** Agroforestry systems, monoculture, *Theobroma cacao* L., fixed carbon, biomass.

## I. INTRODUCCIÓN

El planeta tierra está cubierto por una capa de gases llamada atmósfera, esta capa deja ingresar la energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra, algunos gases de efecto invernadero impiden el escape de calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio lo cual permite el desarrollo de la vida. Pero las actividades humanas están produciendo un exceso de gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono, esto causa una serie de alteraciones al planeta que incluyen el aumento en la temperatura, cambios en los patrones de lluvia y el incremento en los niveles del mar. El dióxido de carbono es uno de los más importantes gases de efecto invernadero generado por las actividades humanas, este es producido cuando se usa combustible fósil (petróleo y sus derivados) y cuando los bosques son deforestados y quemados. (Ramirez, Panduro, y Miranda, 2014)

Los ecosistemas terrestres cumplen un rol importante en el ciclo global del carbono, las plantas, a través de la fotosíntesis, absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo fijan como carbono en su biomasa (madera, hojas, ramas, raíces). La permanencia de este carbono en la biomasa vegetal depende del ciclo de vida de las plantas. Los árboles y demás especies leñosas pueden almacenar carbono por años en su madera. Esto los hace una opción económica y ecológica para mitigar el cambio climático. Investigaciones encaminadas a medir la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en distintas zonas agroecológicas del Perú demuestran que los cacaotales, los bosques y sistemas agroforestales juegan un papel importante como sumideros de carbono (Larrea, 2007).

Se puede concluir que los sistemas de cacaotal presentan una acumulación potencial de carbono a su vez estos favorecen a mejorar del suelo.

El objetivo general de la investigación fue:

- Evaluar el carbono total almacenado en una hectárea de plantación de cacao (*Teobroma cacao* L.) en condiciones de ceja de selva en la “Parcela cacaotera el Paraíso” en el Centro Poblado de Santa Cruz Distrito de Bellavista - Provincia de Jaén utilizando la respectiva ecuación alométrica.

Los objetivos específicos son:

- Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea.
- Cuantificar el carbono almacenado en la necromasa.
- Cuantificar el carbono fijado en el suelo.
- Determinar el flujo anual de carbono.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

La capacidad de almacenamiento y fijación de carbono de un sistema agroforestal de cacao *Theobroma cacao* L. con laurel *Cordia alliodora*, en dos condiciones de relieve (valle y loma), fue evaluada en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica, este estudio incluyó el carbono almacenado promedio de los compartimientos suelo, necromasa y vegetación herbácea del sistema, la cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (SAF-CL) fue de  $126.4 \text{ t C ha}^{-1}$  en valle y de  $114.5 \text{ t C ha}^{-1}$  en loma bajo la densidad 6x6 m. El carbono promedio almacenado en las densidades 9x9 m y 12x12 m, fue de 109.7 y 97.9  $\text{t C ha}^{-1}$ , respectivamente, en un período de 25 años. Las tasa de fijación promedio en los SAF-CL de la Reserva Indígena de Talamanca, fue de  $5.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el mismo período de tiempo (Ortiz y Riascos, 2006)

El carbono almacenado y fijado en la biomasa aérea y necromasa de cacaotales de 18 y 35 años en el Centro Universitario Regional del Norte, en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) fue de 28.8 y 33.6  $\text{t C ha}^{-1}$  en biomasa arriba del suelo a los 18 y 35 años, respectivamente, estos arrojaron una tasa de fijación promedio de  $1.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El carbono almacenado en necromasa ascendió a  $4.4 \text{ t ha}^{-1}$ , con diferencias leves entre las edades de las plantaciones, estos resultados demuestran que los sistemas agroforestales con cacao tienen potencial para mitigar el cambio climático al capturar carbono en biomasa y necromasa (Andrade *et al.*, 2006),

Se estimó el almacenamiento de carbono en 50 sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua, los SAF-cacao almacenaron  $91,45 (\pm 31.44) \text{ t C ha}^{-1}$  con una tasa de fijación de carbono total de  $5.4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en biomasa aérea. Los compartimientos del SAF-cacao que más carbono almacenaron en orden descendente fueron: suelo (52.61%), biomasa aérea (plantas de cacao y árboles de sombra) (35.86%), raíces gruesas (7.52%), raíces finas (4.15%), necromasa (0.32%) y hojarasca (0.32%). El 56% de los SAF-cacao registraron niveles de carbono medio y alto y el 44% niveles bajo y muy bajo, el suelo fue el componente que tuvo un mayor aporte de carbono más del 50% del carbono total fijado (Poveda, Orozco, Medina, Cerda, y López, 2013).

Asimismo se valoró financieramente el aporte que percibirían los productores por secuestro de carbono, el cual se estimó en  $\text{US\$}36 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , valor correspondiente a la tasa anual de fijación de carbono aéreo. Los resultados podrían ser utilizados por organizaciones cacaoteras de Waslala para gestionar proyectos de pago por créditos de carbono (Poveda *et al.*, 2013).

Se han venido realizado estudios en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano Pichilingue (Los Ríos) y Caluma (Bolívar) donde se evaluó la fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en este estudio se

cuantifico el carbono fijado y almacenado y se estimó el valor económico del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono, en este trabajo se determinó que los suelos de los SAF con café y cacao, son depósitos importantes de carbono (72.5 y 75.7 t/ha respectivamente). Los contenidos de carbono almacenados en el suelo, son el producto del constante flujo de biomasa de los árboles y arbustos componentes de los sistemas. El almacenamiento de carbono en la biomasa de los SAF fue de 196,7 t C/ha. (Corral *et al.*, 2006).

También se han realizado investigaciones en el Perú, en el ámbito de la provincia de Mariscal Cáceres, región de San Martín se evaluó 7 sistemas de uso de la tierra, tres sistemas de 3 años, dos de 6 años y dos de 8 años de edad del cultivo principal es el cacao. Así mismo se ha determinado la ecuación alométrica (modelo de biomasa):  $Biomasa = 0,4849 \text{ Diámetro}^{1.42}$ , con el fin de estimar la biomasa específica para la especie de cacao en función a la información levantada mediante inventarios en Mariscal Cáceres, dicha ecuación fue elaborada basándose en 30 árboles de diferentes zonas con similares condiciones ambientales. De los resultados, se puede concluir que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentan una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estos favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de conservación del suelo y excelente controlador de maleza. Los flujos fijación de carbono para cada uno de los sistemas fluctuaron desde 0,99 a 8,02 t C / ha / año. El sistema más rentable para esta actividad es el de Cacao de 8 años con sombra de capirona, bolaina y caoba, con un ingreso anual aproximado de US\$ 150,33 dólares americanos, por t CO<sub>2</sub> / ha / año. Gracias a este estudio se generó información técnica científica base para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, en el marco del Protocolo de Kyoto, mediante el aprovechamiento de sistemas agroforestales de cacao en la amazonia peruana (Larrea, 2007).

En otro estudio realizado en el Perú en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres) se evaluó la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el fin de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C ha<sup>-1</sup> para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C ha<sup>-1</sup> del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t ha<sup>-1</sup> hasta 35.5 t ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha<sup>-1</sup> hasta 9.97 t ha<sup>-1</sup>; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha<sup>-1</sup>. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO<sub>2</sub> equivalente (Concha *et al.*, 2007).

## **2.2. BASES CONCEPTUALES**

### **2.2.1. Biodiversidad.**

El Perú ha sido reconocido como uno de los diecisiete países llamados mega diversos, por ser poseedores en conjunto de más del 70 % de la biodiversidad del planeta. La biodiversidad del Perú está representada por una gran variedad de ecosistemas, especies de flora y fauna, y diversidad genética, que han contribuido y contribuyen al desarrollo y la sostenibilidad mundial, en nuestro país se pueden encontrar más de 20 375 especies de flora, 523 mamíferos, 1847 aves, 446 reptiles y 1070 peces marinos ,de igual modo, poseemos 84 de las 117 zonas de vida del planeta y más de 73 millones de hectáreas de bosques; y gracias a nuestro legado cultural, en el Perú se han domesticado 5 especies de fauna silvestre y 182 especies de plantas, muchas de estas zonas de vida resultan ser de importancia para la alimentación mundial. El valor de esta gran riqueza natural ha sido reconocido por la Constitución Política del Perú, en su artículo 68° señala la importancia de la diversidad biológica y dispone la obligatoriedad para el Estado de promover su conservación. Este mandato fue corroborado con la ratificación del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) que tiene por objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes, y la participación justa y equitativa de los beneficios que se derivan de la utilización de los recursos genéticos (Ministerio del Ambiente, 2014)

### **2.2.2. Protocolo de Kioto**

El Protocolo de Kioto es un instrumento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del período comprendido del año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones del año 1990. Es decir, si las emisiones de estos gases en el año 1990 alcanzaban el 100%, para el año 2012 deberán de haberse reducido como mínimo al 95%.

Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que este es un porcentaje a nivel global y por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir. El Protocolo de Kioto da cumplimiento a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, o basándose y estructurado en función de sus principios, la cual únicamente promueve a países a reducir la emisión de gases.

El referido Protocolo compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero; establece metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero)



que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años. En este sentido tiene un principio central: la responsabilidad común.

El Protocolo ha promovido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a considerar el medio ambiente a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono, el que contempla la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y a su vez ofrece oportunidades de negocio, movilizándolo uno 100.000 millones de dólares en créditos a partir de entrada en vigor del Protocolo de Kioto en el año 2008 (William Schwartz, 2012)

### **2.2.3. Desarrollo Sostenible.**

El concepto de desarrollo sostenible procura integrar y asociar las dimensiones económica y social con la dimensión ecológica, busca promover la prosperidad, sin descuidar la protección del ambiente; la finalidad es poner énfasis en la lucha contra la pobreza en todas sus formas e implementar estrategias que promuevan el crecimiento económico, la educación, la salud, la protección social, la seguridad y la equidad en las oportunidades de empleo. El Perú participó activamente en las negociaciones internacionales efectuadas para la adopción de los ODS (objetivos de desarrollo sostenible), y también se ha comprometido con su ejecución, la realización de su seguimiento y la evaluación de los progresos conseguidos.

El cuidado del ambiente y el uso eficiente de los recursos naturales son condiciones fundamentales en nuestro tránsito hacia el desarrollo sostenible. El bienestar y el desarrollo de las personas dependen de los servicios de aprovisionamiento de alimentos, agua, madera, combustible, así como la regulación del clima y las enfermedades, entre otros servicios como los culturales y recreativos; todos dependen del funcionamiento saludable de los ecosistemas como condición global, transversal e integral clave para un futuro mejor y más justo para todos, indispensable para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Por ello es que, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, están claramente priorizados los relacionados con las cuestiones ambientales y climáticas (Ministerio del Ambiente, 2014).

### **2.2.4. Generalidades del cultivo del cacao.**

#### **a) Descripción botánica de la especie (*Theobroma cacao* L.)**

El cacao es una especie diploide ( $2n = 20$  cromosomas), de porte alto (8 -20 m de altura) y de ciclo vegetativo perenne. Este árbol crece y se desarrolla bajo sombra en los bosques tropicales húmedos de América del sur (M&O CONSULTING S.A.C, 2008).

**El tallo.-** Las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18

meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilo u horqueta (Estrada, Castellano, y Peraza, 2011).

**Las hojas.-** Las hojas adultas son de color verde, de lámina simple, entera de forma que va desde lanceoladas o casi ovaladas, con una nervadura pinnada y ambas superficies glabras. Las hojas cuando jóvenes son muy delicadas por lo que son apetecidas por los insectos y dañadas por el viento poseen un color verde pálido y al alcanzar su madurez hacen el cambio de color (Estrada *et al.* , 2011).

**La flor.-** La flor del cacao es hermafrodita es decir cuenta con ambos sexos, su polinización es estrictamente entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente en horas de la mañana la flor ya está abierta en su totalidad (Estrada *et al.* , 2011).

**El fruto.-** El fruto es conocido botánicamente como una drupa; pero generalmente se le conoce como mazorca. El tamaño y la forma dependen en gran medida de las características genéticas de la planta, el medio ambiente así como el tipo de manejo que se le da a la plantación (Estrada *et al.* , 2011).

**Variedades.-** Actualmente en el mundo existe una gran cantidad de variedades de cacao, la riqueza genética con la que se cuenta es muy amplia; aunque originalmente solo existían dos tipos: el criollo y el forastero, el cruce de estos dos especies a dado origen al trinitario (Estrada *et al.* , 2011).

## **b) Taxonomía.**

El nombre botánico del cacao es *Theobroma cacao* L. el cual pertenece a la clase Dicotiledónea; Orden Malvales; Familia Sterculaceae. La característica principal de esta planta es la de ser cauliflora, es decir produce sus flores y frutos en el tallo y ramas; el nombre *Theobroma*, significa alimento de los dioses, que se le atribuye a las propiedades divinas que los indígenas consideraban en esta planta (Larrea, 2007).

## **c) El cultivo de *Theobroma cacao* L. y sus beneficios.**

**Ambientales .-** El árbol del cacao es un buen cultivo para reforestar terrenos, al aportar gran cantidad de materia orgánica a los ecosistemas y beneficiar la conservación de la microflora y fauna del suelo , Tanto los arboles de cacao como las especies utilizadas como sombra permanente protegen el suelo de la erosión y de la proliferación de malezas lo que conlleva a reducir su control, a la vez mantienen un clima equilibrado dentro de la plantación, las hojas al caer se descomponen y contribuyen a mejorar el contenido de materia orgánica del suelo. Permite que exista una mayor infiltración de agua en el suelo, ayudan a restaurar los mantos acuíferos además de proteger las cuencas hidrográficas. Si se utilizan leguminosas como arboles de sombra se fija nitrógeno en el suelo. Además los sistemas productivos de cacao son hábitat y refugio de la biodiversidad (Estrada *et al .*, 2011).

**Económicos.-** Es un producto de exportación, generador de divisas; socialmente involucra a gran número de personas, posee alto poder alimenticio y además es un cultivo conservacionista (Lanz & Granado, 2009).

Para las familias productoras es un buen negocio producir y vender cacao debido a que es un cultivo que siempre tiene demanda, su precio en el mercado es estable a diferencia de otros cultivos como el café o el frijol que además de tener precios variables enfrentan mayores riesgos de pérdida de la producción especialmente en el trópico húmedo (Estrada *et al .*, 2011).

**Sociales.-** El cacao es una fuente importante de ingresos para las familias productoras a la vez que lo utilizan para su alimentación ya que forma parte de una gran variedad de alimentos además es un aporte importante a la soberanía alimentaria, por que contiene nutrientes esenciales para el sano desarrollo de las familias, no requiere de grandes inversiones económicas para su establecimiento y manejo lo que lo convierte en una buena alternativa productiva (Estrada *et al .*, 2011).

#### **d) Variedad CCN- 51**

**Origen.-** Luego de muchos años de esfuerzo, sacrificio y falta de apoyo oficial, Homero Castro logra en 1960 en su finca “Theobroma” localizada en Naranjal Ecuador selecciona varios híbridos con las características deseadas, procediendo luego de clonificar algunos de ellos a los que los denominó con las siglas CCN-51 cuyo significado es “Colección Castro Naranjal”.

Los diferentes clones CCN fueron obtenidos del híbrido entre los clones ICS-95 x IMC-67, habiendo procedido luego a realizar un segundo cruce entre dicho híbrido con un cacao encontrado por él en el Oriente ecuatoriano y denominado “Canelos”.

De todos los CCN seleccionados a Homero Castro le llamó especialmente la atención el CCN-51, ya que reunía todas las características buscadas por él durante tantos años.

Los primeros clones de CCN-51 fueron sembrados en la Hacienda “Sofía” de Naranjal y de propiedad del Sr. César Amador Baquerizo donde se les hizo un minucioso seguimiento y análisis de sus sobresalientes características durante varios años

Es a partir de 1965 hasta su muerte, y una vez comprobadas sus bondades, que Homero Castro se dedica a propagar este clon que forma parte ya de la historia Cacaotera del Ecuador y del mundo y que constituye un mérito científico invaluable (Fajardo, 2018)

**Principales características del CCN-51.**-En primer lugar se destaca su alta productividad que llega en haciendas altamente tecnificadas a superar los 50 quintales por hectárea, es un clon auto compatible, es decir no necesita de polinización cruzada para su adecuado fructificación tal como la mayoría de los clones. El CCN-51 se caracteriza por ser un cultivar precoz pues inicia su producción a los 24 meses de edad también es tolerante a la “Escoba de Bruja” enfermedad que ataca a la mayoría de variedades de cacao destruyendo parte de su producción, pero es sensible a Monillia. Es una planta de crecimiento erecto pero de baja altura lo que facilita las labores agronómicas tales como poda y cosecha entre otras (Fajardo, 2018)

Su índice de Mazorca (IM) 8 mazorcas/libra de cacao seco, en comparación con el índice promedio de 12 mazorcas/libra, su índice de Semilla: 1.45 grs./semilla seca y fermentada comparado con el índice promedio de 1.2 grs./semilla seca. El índice de Semillas por mazorca: que es de 45, mucho más alto que el promedio normal de 36 semillas por mazorca, asimismo presenta una gran adaptabilidad ya que es un clon cosmopolita que se adapta a casi todas las zonas tropicales desde el nivel del mar hasta los 1.000 sobre el nivel del mar, y por último su porcentaje de manteca (54%) lo que lo hace muy cotizado por las industria (Fajardo, 2018)

### **2.2.5. Sistema agroforestal.**

Los sistemas agroforestales, son formas de usos y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales, en una arreglo espacial (topológico) o cronológico (en el tiempo) en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre árboles y los otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región (López, 2018).

Las formas de producción agroforestal son aplicables tanto en ecosistemas frágiles como estables, a escala de campo agrícola, finca región a nivel de subsistencia o comercial. El objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar el nitrógeno atmosférico, reciclar nutriente, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema respetando el principio de sistema sostenido (López, 2018).

#### **2.2.6. Monocultivo.**

Se refiere a plantaciones de gran extensión con el cultivo de una sola especie, con los mismos patrones, resultando en una similitud genética, utilizando los mismos métodos de cultivo para toda la plantación (control de plagas, fertilización y alta estandarización de la producción), lo que hace más eficiente la producción a gran escala (Zavala y Faustino, 1968)

#### **2.2.7. Biomasa.**

La biomasa de una comunidad de plantas se define como su masa seca total, considerándose dentro de esta, a la biomasa aérea como el compartimiento más importante en proyectos de captura de Carbono (Ortiz y Riascos, 2006)

La biomasa proviene de la luz solar, la cual gracias al proceso de fotosíntesis, es aprovechada por las plantas verdes mediante reacciones químicas en las células, las que toman  $\text{CO}_2$  del aire y lo transforman en sustancias orgánicas, según una reacción del tipo:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H-COH} + \text{O}_2$ . En estos procesos de conversión la energía solar se transforma en energía química que se acumula en diferentes compuestos orgánicos (polisacáridos, grasas)

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). (FOCER, 2002)

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse solo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. (FOCER, 2002)

#### **2.2.8. Biomasa aérea.**

Es la que conforman las estructuras leñosas aéreas de especies frutales, maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo (Connolly y Corea, 2007).

### **2.2.9. Hojarasca.**

Hojarasca se define como el conjunto de órganos vegetales, con exclusión de las raíces, procedentes del estrato vegetal, que una vez muertos, van a retornar al suelo y entran a formar parte de los primeros horizontes del mismo (Salazar, 2008).

### **2.2.10. El ciclo Biogeoquímico.**

Se define el ciclo biogeoquímico como “el paso de los elementos del suelo y de la atmósfera a los organismos vivientes, su transformación en complejos nuevos y su retorno al suelo y a la atmósfera, en el momento de la eliminación anual de una parte de la materia orgánica, por la muerte completa de los organismos que entran en la composición de la biocenosis”. El ciclo biogeoquímico de la materia orgánica y los elementos minerales representa un papel clave de las relaciones existentes entre suelo, vegetación y medio ambiente, constituyendo por ello uno de los fenómenos ecológicos esenciales en las biocenosis naturales y, en particular, en los ecosistemas forestales (Salazar, 2008).

### **2.2.11. El suelo.**

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias, transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad (Sposito, 1998)

### **2.2.12. Carbono Orgánico del suelo.**

Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos. El Carbono orgánico de suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro (Salazar, 2008).

### **2.2.13. Importancia de la materia orgánica en el suelo.**

El desarrollo de los cultivos se sustenta en la capacidad que tiene el suelo de proporcionarle las cantidades necesarias de nutrientes para su correcto desarrollo. La disponibilidad de dichos nutrientes depende de varios factores, siendo el contenido y calidad de la materia orgánica presente uno de los más determinantes (Salazar, 2008).

#### **2.2.14. Fijación de carbono en el suelo.**

Se ha considerado a los suelos como un sumidero de carbono, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg a 1 m de profundidad y 2456 Pg a 2 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg), la cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) (FAO, 2002).

Los suelos agrícolas llegan a ser globalmente entre unas de las reservas mayores de almacenamiento de carbono con un posible potencial de expansión del secuestro de carbono (SC), y por lo tanto proporcionan una manera prospectiva de mitigar concentración aumentada de CO<sub>2</sub>. Se ha estimado que los suelos son capaces de secuestrar alrededor de 20 Pg en 25 años, más del 10 % de las emisiones antropogénicas (FAO, 2002).

#### **2.2.15. Método de Walkley y Black.**

El método de titulación Walkley-Black es uno de los métodos clásicos para el análisis rápido de carbono orgánico (CO) en suelos y sedimentos. El método se basa en la oxidación de la materia orgánica por la mezcla de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) - sulfúrico seguido de la titulación posterior del dicromato excesivo por sulfato de amonio ferroso (Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O) (Gelman, Binstock, y Ludwik, 2011).

#### **2.2.16. Método del cilindro de volumen conocido.**

Es el método más sencillo para determinar la densidad aparente del suelo y consiste en tomar un volumen fijo del suelo sin perturbar el suelo, pesarlo una vez seco, por calentamiento en el horno a 105° C durante 24 horas. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido. Ya en el laboratorio se extrae el suelo contenido, cuyo volumen corresponde con el del cilindro y que es conocido, se deseca y se pesa. La densidad viene determinada por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente. (Rubio, 2010)

#### **2.2.17. Carbono fijado.**

Se refiere a la cantidad de carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de captar en un período de tiempo determinado (Connolly y Corea, 2007).

#### **2.2.18. Almacenamiento de carbono.**

Proceso de aumento del contenido en carbono de un depósito de carbono que no sea la atmósfera. Desde un enfoque biológico incluye el secuestro directo de dióxido de carbono de la atmósfera mediante un cambio en el uso de las tierras, forestación, reforestación, y otras prácticas que mejoran el carbono en los suelos agrícolas (IPCC, 2001).

### **2.2.19. Dióxido de carbono.**

Gas que se produce de forma natural, y también como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa, cambios en el uso de las tierras y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta. Es el gas de referencia frente al que se miden otros gases de efecto invernadero y, por lo tanto, tiene un Potencial de calentamiento mundial (IPCC, 2001).

### **2.2.20. Sumidero de carbono.**

Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis. Mediante esta función, los vegetales absorben CO<sub>2</sub> que compensa las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica (Gobierno de España, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017).

### **2.2.21. Ecuación alométrica.**

Una ecuación alométrica de biomasa es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de variables medidas en el campo denominadas regresoras o independientes tales como: el diámetro a la altura de 1,30 m (DAP), la altura comercial (Hc) y total (Ht), el crecimiento dimétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (ICRAF, 2009).

### **2.2.22. Efecto invernadero.**

La energía solar que atraviesa la atmósfera en forma de luz visible debe liberarse al espacio dentro de determinado periodo de tiempo en las mismas proporciones en que fue absorbida por la tierra, no obstante, parte de esta energía es retenida por el vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera, impidiendo que esta sea devuelta de inmediato y dando lugar al fenómeno llamado “efecto invernadero” (Pérez, 2009).

### **2.2.23. Ciclo del Carbono.**

El ciclo del carbono es la sucesión de transformaciones que sufre el carbono a lo largo del tiempo. Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida (Larrea, 2007).

### **2.2.24. Fotosíntesis.**

La fotosíntesis es un proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y



tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestres: cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico ( Pérez y Caril, 2009).

#### **2.2.25. Ciclo de la fijación del carbono de la fotosíntesis.**

Consiste en una serie de procesos bioquímicos que se realizan en el estroma de los cloroplastos de los organismos fotosintéticos. Las reacciones del ciclo de Calvin pertenecen a la llamada fase independiente de la luz, que se encarga de fijar el CO<sub>2</sub>, incorporándolo a la materia orgánica del individuo en forma de glucosa mediante la enzima Rubisco (Bassham, Benson, y Calvin, 1950).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN:**

##### **3.1.1. Ubicación Política.**

La investigación se realizó en la parcela cacaotera el Paraíso que se encuentra en el Centro Poblado de **Santa Cruz** distrito de Bellavista, perteneciente a la provincia de Jaén del departamento de Cajamarca, Perú.

##### **3.1.2. Clima:**

Es propio de los pueblos de la selva alta, es decir cálido y húmedo en la parte baja y templado o moderadamente frío en la parte alta, la temperatura oscila entre 35° y 38°, en la parte baja y entre 25° y 28° en la parte alta, siendo la época más calurosa entre los meses de octubre a diciembre y la de mayor precipitación, el período comprendido entre enero a marzo (Municipalidad Distrital de Bellavista, 2017) .

##### **3.1.3. Suelo:**

En la Zona Yunga o Alta, el 60% corresponde a suelo árido y suelo con bosques; los primeros tienen pastos naturales sólo en épocas de lluvias, siendo aptos para la crianza de ovinos, así como para la forestación; los segundos favorecen el equilibrio ecológico así como provee de madera a la población; el 40% de suelos son cultivados con café u otras especies, de auto consumo.

En la Zona Baja ó Rupa Rupa, el 80% del área total se destina al cultivo de arroz y el 20% a cultivo de pan llevar, forrajes, cacao y un área considerable de suelos eriazos que por falta de agua no pueden ser cultivados, como sucede en una parte de las pampas de Shumba y Sambimera, que pese a ser suelos fértiles carecen de riego (Plan Estratégico Concertado de Desarrollo del Distrito de Bellavista, 2004).

### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS:**

#### **a) Materiales:**

- Gotero.
- Espátula de 15 cm.
- Vaso de precipitados de 1000 ml.

#### **b) Equipos:**

- Cámara digital Sony cybershot 20.1 MP.
- Balanza electrónica analítica 2000/0.01 gr.
- Balanza electrónica digital 1gr- 5 kg.
- Horno – Estufa capacidad 24 L – Potencia 500w.
- Equipo de titulación.

#### **c) Herramientas:**

- Marco metálico de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m).
- Barreno para muestreo de suelos.

### **3.3. METODOLOGÍA.**

Para dar respuesta a los objetivos de la investigación en el estudio se empleó el método no experimental o exploratorio, el cual consistió en observar y medir variables biométricas, y con ello se determinó la biomasa total y carbono almacenado en una hectárea de la plantación de cacao ubicada en la parcela cacaotera el Paraíso del Centro Poblado de Santa Cruz-Bellavista.

#### **a) La población:**

El total de plantas de cacao clonal CCN-51 en una hectárea, que ha sido establecida en sistema de siembra cuadrado con una densidad de plantación 3m x 3m entre planta, determinándose 1111 individuos en la hectárea evaluada.

## **b) La Muestra:**

La muestra se determinó en base a un trabajo similar sobre captura de carbono en un sistema agroforestal con (*Teobroma cacao* L.) en el Campus de la Universidad Nacional de Ucayali en el cual se recomienda tomar una muestra representativa del 10% del total de plantas de cacao en una hectárea, esto hace un total de 111 plantas de cacao metodología recomendada por (Ramírez, *et al.*, 2014).

## **c) Variables estudiadas:**

- Carbono almacenado en la biomasa aérea.
- Carbono almacenado en la necromasa.
- Carbono fijado en el suelo.
- Flujo anual de carbono.

### **3.3.1. Fase inicial.**

#### **a) Área donde se realizó el trabajo.**

El trabajo se realizó en la parcela cacaotera el Paraíso Distrito ubicada en el Centro Poblado de Santa Cruz provincia de Bellavista Ubicada a 20 minutos del centro de Jaén en moto lineal. El área de estudio, presenta un suelo rico en materia orgánica y las condiciones de clima cálido, húmedo y con buen drenaje que necesita el cacao para que se desarrolle en óptimas condiciones (información proporcionada por el propietario quien es el Técnico Agropecuario Lauriano Narciso Mendoza). Para el presente estudio se seleccionó una hectárea de cacaotal maduro establecido en monocultivo ya que de esa forma hay una mayor homogeneidad de los parámetros biométricos que fueron evaluados.

**Ubicación geográfica del área de estudio.**

Latitud sur : x 753691.0000.  
 Longitud oeste : y 9374520.0000.  
 Altitud : 480 m.s.n.m.

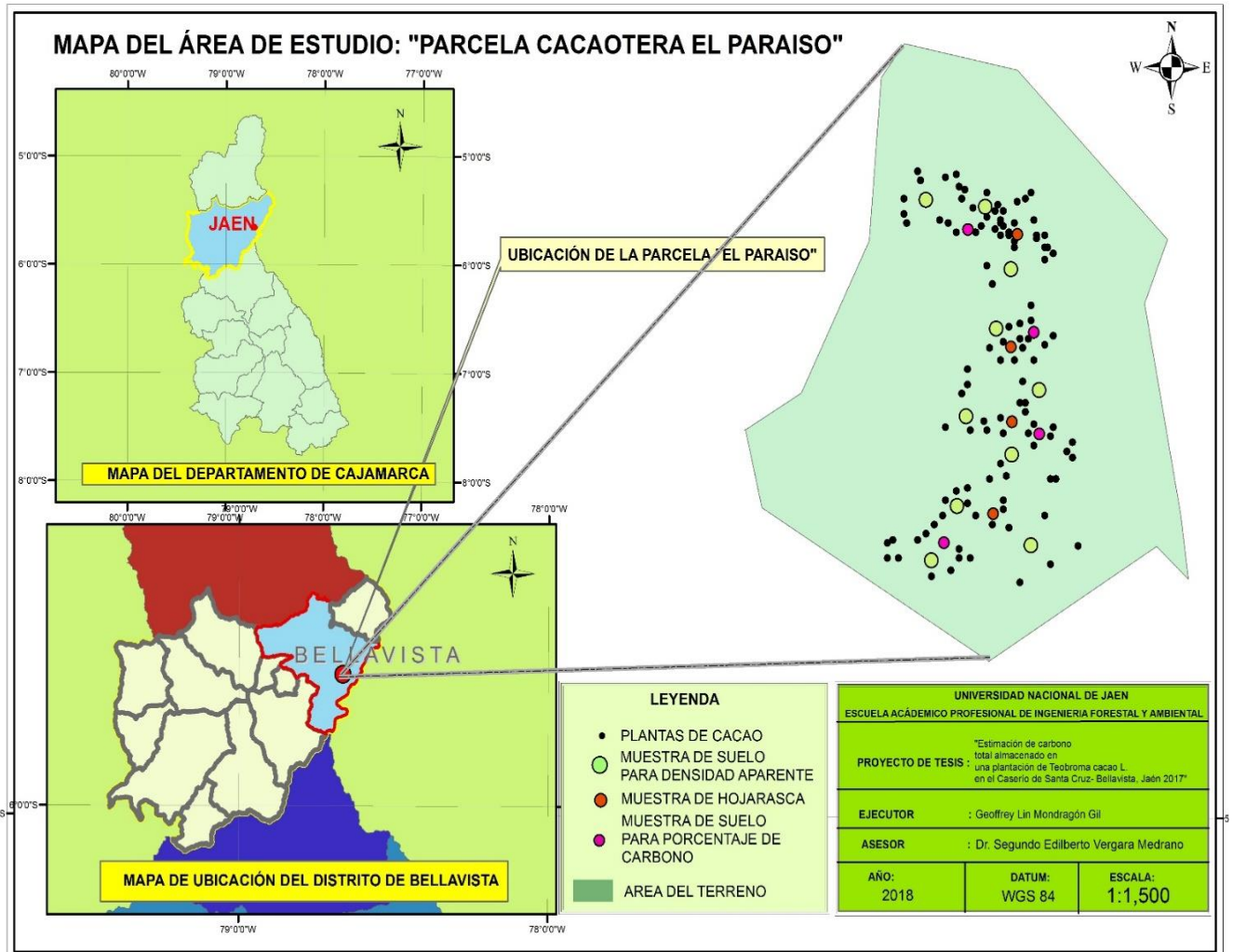


Figura 1: Mapa del área de estudio.



Figura 2: Croquis de ubicación de la parcela cacaotera el Paraíso. Fuente Google Earth.

### **b) Recopilación de información.**

Según la información proporcionada por el propietario de la parcela, la hectárea de plantación de cacao está establecida en sistema de monocultivo cuadrado con un distanciamiento de 3x3 m, esto resulta en un total de 1111 individuos de cacao clonal CCN-51 en la hectárea. La plantación de cacao evaluada presenta una edad de 6 años.

### **c) Elaboración de una ficha Registro.**

En la ficha elaborada (anexo 2) se registraron los datos de las evaluaciones a realizadas en la parcela: Circunferencia del tronco a una altura de 30 cm, peso fresco de las muestras de hojarasca.

### 3.3.2. Fase de campo.

#### a) Delimitación de la parcela de muestreo.

Se delimito la hectárea de plantación de cacao del clon CCN-51 utilizando el GPS Garmin facilitado por la Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, la hectárea delimitada que se dividió en cuatro partes, en cada parte se tomaron los datos correspondiente a la investigación (Circunferencia del tronco a una altura de 30 cm y peso fresco de las muestras de hojarasca).



Figura 3: Delimitación de la hectárea de plantación de *Teobroma Cacao* L. del clon CCN-51

#### b) Medición del diámetro del tallo para determinar el carbono en la biomasa aérea de las plantas de cacao.

Para la determinación de la biomasa aérea total se empleó el método no destructivo que consistió en medir la circunferencia del tronco a una altura de 30 cm del suelo ( $C_{30}$ ) para luego dividirlo por  $\pi$  y obtener el diámetro ( $d_{30}$ ) de las plantas de cacao con cinta diamétrica.



Figura 4: Altura a la que se midió la circunferencia del tronco de las plantas de cacao.



Figura 5: Medición del diámetro del tallo. a) Determinación de la altura del tronco a 30cm del suelo, b) medición de la circunferencia del tronco a una altura de 30 cm del suelo.



Una vez realizada esta actividad se procedió al cálculo de la biomasa aérea haciendo empleo de la fórmula planteada por (Andrade *et al.*, 2006).

$$B = 10^{(-1,625 + 2,63 \cdot \log(d30))}$$

**c) Obtención de muestras de la necromasa de cacao.**

Para la biomasa muerta (hojarasca y necromasa) se trabajó con la metodología de (ICRAF, 2009), se lanzó un marco de madera de 0,25 m<sup>2</sup> (0,5 x 0,5 m) para recolectar la hojarasca y necromasa ( $\leq 10$  cm) sobre el suelo, la cual se pesó para determinar el peso fresco. Cada muestra de cada cuadrante se mezcló, del cual se tomó una sub muestra compuesta de 200 g, se etiquetó y fue llevada a los laboratorios de la Universidad Nacional de Jaén para ser secada en horno o estufa a 60° C, hasta obtenerse un peso constante.



Figura 6: Obtención de las muestras de hojarasca. a) Lanzamiento del marco de madera para la delimitación del área de recolección de la muestra de hojarasca, b) recolección de las muestras de hojarasca, c) Muestras de hojarasca recolectadas.



Figura 7: Pesado de las muestras de hojarasca.

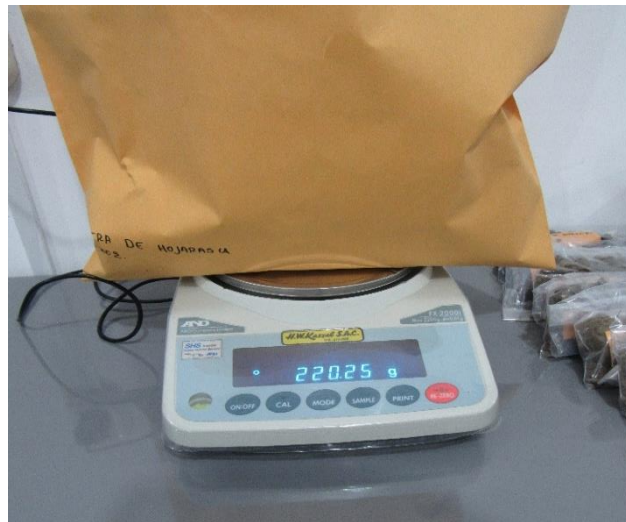


Figura 8: Pesado de la muestras de hojarasca 200 g.



Figura 9: Muestras de hojarasca lista para ser introducida al horno para su secado.

#### **d) Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente.**

El cálculo de la densidad aparente del suelo fue necesario ya que se utilizó ese dato para hacer el cálculo del Carbono fijado en el suelo , para ello se aplicó el método del cilindro de volumen conocido el cual consistió en utilizar un cilindro de 100 cm<sup>3</sup> para introducirlo a un profundidad de 0 - 20 cm en el suelo, luego se colocaron las muestras en una bolsa de plástico debidamente etiquetadas para posteriormente ser llevada al laboratorio para el pesado y los análisis correspondientes, método descrito por (Corea y Cannolly , 2007).



Figura 10: Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente. a) Calicata para la toma de la muestra de suelo, b) introducción del cilindro de volumen conocido para obtener la muestra de suelo.



Figura 11: Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente. a) Extracción de la muestra de suelo, b) recolección de la muestra de suelo.



Figura 12: a) muestras de suelo en el laboratorio de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, b) pesado de las muestras.

**e) Obtención de la muestra de suelo para determinar el porcentaje de carbono fijado en el suelo.**

Para calcular el porcentaje de carbono fijado en el suelo se tomaron muestras con un barreno o tubo metálico a una profundidad de 20 cm luego se analizaron por el método de Walkley Black.



Figura 13: Introducción de tubo metálico para la toma de la muestra de suelo a una profundidad de 20 cm.



Figura 14: Muestras de suelo recolectadas.

### 3.3.3. Fase de laboratorio.

#### a) Secado de las muestras de necromasa.

Las muestra de la necromasa recolectada en la bolsa de papel (200 gramos) fue secada en la estufa a 60 °C, hasta que se obtuvo el peso constante basándose en la metodología recomendada por (Ramírez *et al.*, 2014).

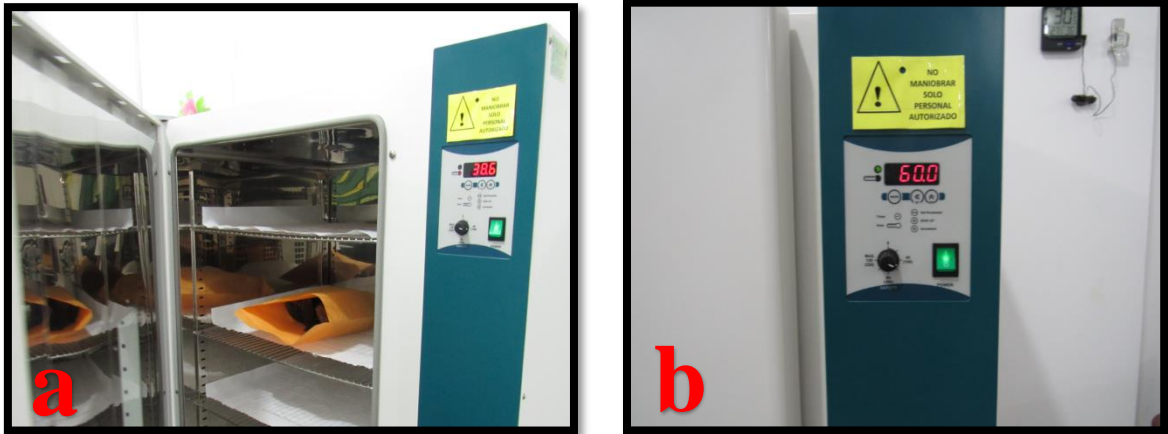


Figura 15: Secado de las muestras de biomasa muerta. a) Secado de la muestra de hojarasca (200 gr) en la estufa, b) estufa a 60° C de temperatura.

#### b) Secado de las muestras de suelo para obtener la densidad aparente.

Las muestras de suelo obtenidas mediante el método del cilindro de volumen conocido fueron secadas una temperatura de 105 °C hasta que se obtuvo un peso constante, después de pasar por este procedimiento se pesó nuevamente(Connolly y Corea, 2007).

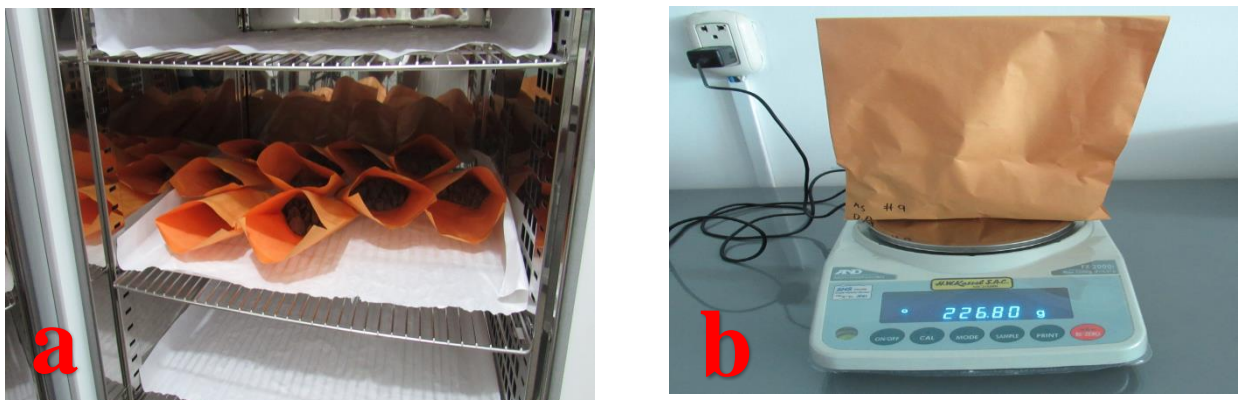


Figura 16: a) Secado de las muestras de suelo en la estufa, b) pesado de las muestras de suelo.

**c) Preparación de la muestra de suelo para el análisis con el método de Walkley Black.**

La muestra natural de suelo, se acondiciono como paso previo para la realización de los distintos análisis, este acondicionamiento consto del secado de la muestra y el tamizado mediante un tamiz de 2mm de luz de malla (Andrades, Moliner, y Masaguer, 2015).

La muestra de suelo fue secada a una temperatura de 55°C durante tres días, posteriormente se molieron, homogenizaron y se tamizaron para ser analizadas según lo recomendado por (Ramírez *et al.*, 2014).



Figura 17: Secado de la muestra de suelo para el análisis.



Figura 18: Acondicionamiento de las muestras de suelo secas.

#### **d) Aplicación del Método de Walkley Black para determinar el porcentaje de carbono fijado en el suelo.**

La metodología que se utilizó para el análisis del carbono en el suelo, fue según el método de Walkley Black descrito por (Connolly y Corea, 2007) que consistió en el siguiente proceso.

##### **Fundamento del método:**

Entre los elementos principales que constituyen la materia orgánica del suelo el carbono es el que puede cuantificar en forma rápida. Por lo tanto, la estimación de la materia orgánica, se ha basado en la determinación del carbono.

La determinación de este elemento se fundamenta en procedimientos cuantitativos que implica la conservación de la forma orgánica. Esta transformación se puede incluir por procedimiento de combustión o por métodos de oxidación – reducción que involucra el tratamiento de la muestra con un agente oxidante fuerte. Los oxidantes más comúnmente utilizados son compuestos inorgánicos que contienen el anión  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , cuyo exceso no (reducido) es cuantificado por titulación. El contenido de carbono orgánico en el suelo se puede expresar directamente en valor porcentual o ser estimado en forma de materia orgánica.

##### **Reactivos que se utilizaron:**

- Solución de dicromato de potasio (IN).
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de sulfato ferroso.
- Indicador de difenilamina.
- Agua destilada.





Figura 19: Reactivos que se utilizaron para la aplicación del Método de Walkley Black.

#### Procedimiento (Digestión del carbono):

1. Pesar 0.5 gramos de suelo de 0.5 mm.
2. Agregar 10 ml de la solución de  $K_2Cr_2O_7$  en un Erlenmeyer de 500 ml.
3. Agregar cuidadosamente 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado.
4. Dejar reposando por un tiempo de 30 minutos.
5. Agregar 250 ml de agua destilada al Erlenmeyer.

#### Valoración del exceso de dicromato:

1. Agregar 18 gotas del indicador
2. Valorar la muestra con la solución  $FeSO_4$  0.5 N
3. Usar un blanco y valorarlo primero que la muestra

#### Cálculos

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = \frac{(\text{meq } K_2Cr_2O_7 - \text{meq } FeSO_4) (0.003) (100)}{\text{peso de la muestra}}$$

#### Donde:

$$\text{mili equivalente (meq) } K_2Cr_2O_7 = \text{Volumen } K_2Cr_2O_7 \times N$$

$$\text{meq } Fe_2(SO_4)_2 = \text{Volumen } Fe_2SO_4 \times N$$

0.003 = peso meq del carbono

100 = para expresar en base a 100

Para convertir a % Materia Orgánica (MO) = % c. orgánico x 1,7240.

### 3.3.4. Fase de gabinete Final.

#### a) calculo de la densidad aparente del suelo.

Se obtuvo con la siguiente formula:

$$Da = (\text{Peso del suelo seco}) / (\text{volumen del cilindro})$$

**Donde:**

Da= densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Peso seco del suelo = (gramo)

Volumen del cilindro = (cm<sup>3</sup>)

$$Da = (1847.75 \text{ promedio}) / (100 \text{ cm}^3)$$

$$Da = 18.477(\text{g/cm}^3).$$

#### b) Estimación del carbono en la biomasa aérea de las plantas de cacao.

Para la estimación de la biomasa aérea se utilizó la formula plateada por (Andrade *et al.*, 2006).

**Biomasa aérea total para el cacao:**

$$B = 10^{(-1,625 + 2,63 * \log(d30))}$$

**Dónde:**

B=biomasa aérea total (kg árbol<sup>-1</sup>).

D<sub>30</sub>= Diámetro a 30 cm del suelo.

$$B = 10^{(-1,625 + 2,63 * \log(17))}$$

$$B = 40.84(\text{Kg árbol}^{-1})$$

$$\text{Biomasa aérea total} = 40.84 \times 1111$$

$$\text{Biomasa aérea total} = 45.37324 \text{ t/ ha}$$

**c) Determinación de la biomasa muerta:**

Para determinar la materia seca se utilizo la siguiente formula:

$$\text{MS (bm)} = (\text{PS sub muestra} / \text{PF sub muestra}) \times \text{PFT}$$

**Dónde:**

**MS (bm)** = Materia seca de la biomasa muerta (kg)

**PS sub-muestra** = Peso seco de la sub- muestra.

**PF sub-muestra** = Peso fresco de la sub muestra.

**PFT** = Peso Fresco Total.

$$\text{MS(bm)} = (126.12 / 200) \times 1078.622$$

$$\text{MS(bm)} = 0.6801790332 \text{ kg}/0.25\text{m}^2$$

**Por regla de tres :**

$$0.6801790332 \text{ kg} \text{ ----} \rightarrow 0.25 \text{ m}^2$$

$$X \text{ ----} \rightarrow 10000 \text{ m}^2 \text{ (1 hectarea )}$$

$$X = 27207.16133 \text{ kg m}^2$$

$$X = 27.2 \text{ t/ ha.}$$

#### **d) Determinación de la biomasa total.**

Para determinar la biomasa total se utilizó la siguiente formula:

$$\text{BS total} = \text{BS aérea total} + \text{BS muerta total.}$$

$$\text{BS total} = 45.37324 \text{ t/ ha} + 27.2 \text{ t/ ha}$$

$$\text{BS total} = 72.57324 \text{ t/ ha}$$

#### **e) Determinación de carbono en la biomasa.**

Para determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa **CAB**, utilizamos la metodología desarrollada por el (ICRAF, 2009), con la siguiente formula:

$$\text{CAB} = \text{BS total} \times \text{FC}$$

#### **Dónde:**

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (t C/Ha)

BS total = Biomasa Total (t/ha)

FC= Fracción de carbono.

El valor estándar de IPCC (Panel intergubernamental para el cambio climático), para FC (0,5)

$$\text{CAB} = (72.57324 \text{ t / ha} ) \times (0,5)$$

$$\text{CAB} = 36.28662.$$

**f) Carbono fijado en el suelo.**

Una vez obtenido la densidad aparente y el porcentaje de carbono, los cuales son obtenidos en el laboratorio, para calcular el carbono almacenado en el suelo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CAS} = \% \text{CS} \times \text{DA} \times \text{P}$$

**Donde:**

CAS= Carbono almacenado en el suelo

%CS= porcentaje de carbono contenido en el suelo.

DA=Densidad aparente del suelo.

P= profundidad de muestreo.

$$\text{CAS} = (0.48) \times (1.8477) \times (20)$$

$$\text{CAS} = 17.73792 \text{ (t C / ha)}$$

**g) Fijación anual de carbono.**

La fijación anual de carbono se determinó por la división del carbono almacenado en la biomasa entre la edad de la plantación del cultivo de cacao.

$$\text{FAC} = \text{CAB} / \text{E}$$

**Dónde:**

FAC = Fijación anual de carbono (t C/ año)

CAB = Carbono almacenado en la biomasa (t C/ año)

E = edad de la plantación en años

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1. Calculo de la densidad aparente del suelo.

En el cuadro 1 se muestra el cálculo de la densidad aparente promedio de la hectárea de suelo del cacaotal para lo cual se trabajó con la fórmula planteada en la metodología obteniendo como resultado una densidad aparente promedio de 1.8477.

**Cuadro 1: Calculo de la densidad aparente del suelo.**

Calculo de la densidad aparente del suelo		
Muestra	Peso seco	Densidad Aparente(g/cm <sup>3</sup> )
Muestra N° 1	189.7	1.897
Muestra N° 2	205.04	2.0504
Muestra N° 3	165.03	1.6503
Muestra N° 4	153.14	1.5314
Muestra N° 5	166.1	1.661
Muestra N° 6	205.15	2.0515
Muestra N° 7	148.73	1.4873
Muestra N° 8	199	1.99
Muestra N° 9	215.26	2.1526
Muestra N° 10	200.55	2.0055
Densidad aparente promedio = 1.8477		

Esto indica que el suelo es de un tipo arenoso, la densidad aparente del suelo es una propiedad afectada por influencias meteorológicas y biológicas como la materia orgánica ya que este constituyente del suelo afecta marcadamente a la densidad de las partículas. Del resultado se puede concluir que el suelo tiene niveles bajos de materia orgánica.

#### 4.2.Evaluación de la Biomasa Aérea del cacaotal.

Se presenta el cuadro 2 donde se muestra la biomasa acumulada en la parte aérea de la hectárea de cacaotal, para ello se utilizó la fórmula planteada por (Andrade *et al.*, 2006). Que se menciona en la metodología.

**Cuadro 2: Cantidad de biomasa en la parte aérea del cacaotal.**

Datos promedio de las variables evaluadas			
Especie evaluada	Diámetro de circunferencia(cm)	Biomasa Aérea ( kg árbol <sup>-1</sup> )	BAT (t/ha)
<i>Theobroma cacao</i> L. (cacao)	17	40.84	45.37324
*BAT = Biomasa aérea total			

En el cuadro 2 se puede observar los resultados que se obtuvieron a partir de la medida del diámetro a 30 cm del suelo de las plantas de cacao, el diámetro promedio de la circunferencia se utilizó en la fórmula alométrica planteada por (Andrade *et al.*, 2006) para calcular la cantidad de biomasa en Kg/árbol y luego este resultado se multiplicó por el número de individuos presentes en la hectárea del cacaotal evaluado para obtener la cantidad de biomasa en t/ha obteniendo un resultado de 45.37324 t/ha

En la investigación de (Ortiz y Riascos, 2006), se utilizó un modelo en función de la edad para estimar la biomasa aérea del cacao, mediante una ecuación de tipo polinomial de segundo grado ( $Ba = -2,01539 + 0,191278 * E - 0,000370852 * E^2$ ). En nuestro caso se evaluó la biomasa en función del diámetro del tallo,  $B = 10^{(-1,625 + 2,63 * \log(d30))}$ , basándose en el criterio de que estimar biomasa en función de la edad no revela la biomasa del árbol con exactitud, esto se debe a factores como las condiciones de estrés de la planta de cacao, fitopatologías o las podas que afectan su normal desarrollo, la fisionomía y por ende, la biomasa de los árboles. En cuanto a similitudes las dos investigaciones tomaron en cuenta el diámetro a 30 cm del suelo.

En el trabajo desarrollado por (Andrade, Figueroa, y Silva, 2013) en tres lotes del Centro Universitario Regional del Norte (CURDN), localizado en el municipio de Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) se evaluaron cacaotales que presentaban edades de 18 y 35 años, con una densidad de plantación de  $2 \times 2.5$  m y  $3 \times 3$  m, respectivamente. Se midió la circunferencia del tronco de todos los árboles de cacao a una altura de 30 cm (C30) en cada una de las parcelas con una cinta métrica para luego dividirlo por  $\pi$  y obtener el diámetro (d30). Con este diámetro, se aplicó la ecuación alométrica para la estimación de la biomasa aérea total por árbol. En nuestro trabajo se aplicó una metodología parecida a esta ya que también se midió la circunferencia de los árboles a

una altura de 30 cm del suelo para obtener el diámetro y luego aplicar la fórmula planteada por (Andrade *et al.*, 2006)  $B= 10(-1,625+2,63*\log(d30))$  .

La diferencia es que en nuestro trabajo se obtuvo (40.84 kg árbol<sup>-1</sup>) y ( 45.37324 t/ha) de biomasa acumulada en la parte aérea del cacaotal, en cuanto a la otra investigación se obtuvo un promedio de 60 t /ha en los tres lotes, la mayor cantidad acumulada de biomasa se debe principal mente a la edad de los cacaotales 35 – 18 años en comparación con nuestro estudio 6 años ya que a mayor tiempo de establecida la plantación es más la cantidad de biomasa acumulada en sus ramas o partes.

### 4.3.Evaluación de la necromasa (hojarasca).

Se presenta el cuadro 3 donde se observan las variables medidas (peso fresco de total, peso fresco de la sub muestra y peso seco de la sub muestra) para poder calcular mediante la metodología planteada, la biomasa acumulada en la hojarasca de la hectárea del cacaotal estudiado.

**Cuadro 3: Cantidad de biomasa acumulada en la hojarasca.**

Variables estudiadas				
Peso fresco total/0.25 m <sup>2</sup> (gr)	Peso fresco sub muestra (gr)	Peso seco de la sub muestra (gr)	BM kg/0.25m <sup>2</sup>	BMT (t/ha)
1078.622	200	126.12	0.680179033	27.2
*BMT=Biomasa muerta total		*BM= Biomasa muerta		

La hectárea de cacaotal en sistema monocultivo acumula 27.2 t/ha como se muestra en el cuadro.

Con respecto a la necromasa o biomasa muera (hojarasca), Larrea ,(2007) realizo un trabajo de investigación en Mariscal Cáceres Región de San Martín, donde evaluó el sistema de cacao de 3 años, con guaba (*Inga edulis*) y palta (*Persea americana*) como sombra de 5 años de edad. El diámetro promedio de las plantas de cacao en el sistema fue de 4 a 8 cm., con distanciamiento de 3x3 m . Los arboles de sombra tuvieron un distanciamiento de 9x9 m. El sistemas tuvo un alto contenido de biomasa en hojarasca (24 ,71 t/ha) esto fue elevado con respecto a la edad del sistema y menor a lo encontrado en nuestro presente trabajo (27.2 t/ha). Estos resultados se pueden deber a que las guabas y paltas asociadas al cacao, tienen mayor volumen de emisiones de hojas en comparación con nuestro sistema de monocultivo de cacao.



Así mismo, la mineralización y descomposición de la materia orgánica en los suelos del valle de San Martín es mucho más lenta e inferior a los suelos del ecosistema ceja de selva como es en Bellavista, debido a que la mineralización o descomposición de la materia orgánica es directamente proporcional al PH del suelo e inversamente proporcional a la altitud; en ese sentido nuestros resultados muestran mayor cantidad de biomasa muerta.

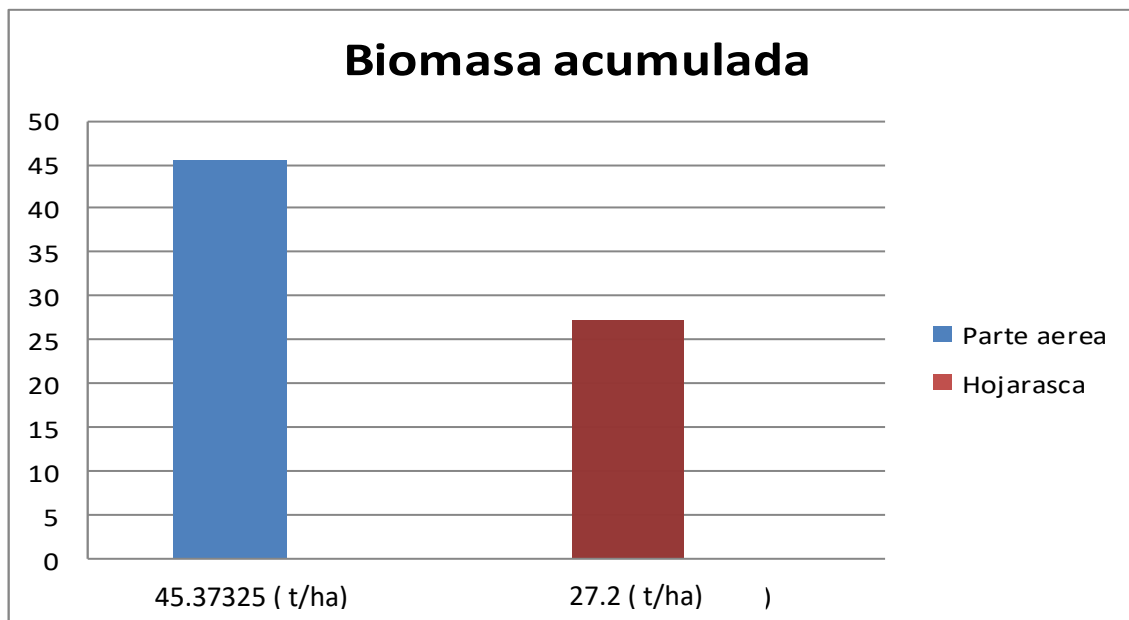


Figura 20: Gráfica de la biomasa acumulada en la parte aérea y en la hojarasca.

Como se puede observar en la figura 20 la variable estudiada que más biomasa acumula es la parte aérea de la plantación de cacao con 45.37325 t/ha y en menor cantidad esta la hojarasca o necromasa con 27.2 t/ha esto quiere decir que el mayor porcentaje de carbono se encuentra fijado en la planta.

#### 4.4. Evaluación del carbono almacenado en la biomasa total.

En el cuadro 4 se muestra la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total es decir la Biomasa aérea total sumada con la biomasa muerta total o necromasa.

**Cuadro 4: Carbono almacenado en la biomasa del cacaotal.**

Datos de las evaluaciones de las variables estudiadas				
EDAD (años)	BAT (t/ha)	BMT (t/ha)	BT=BAT+BMT (t/ha)	CAB=BT*FC (t/ha)
6	45.37324	27.2	72.57324	36.28662
*BAT=biomasa aérea total *BMT=biomasa muerta total * CAB=carbono almacenado en la biomasa				

En el cuadro anterior se puede observar la biomasa aérea total de la hectárea de cacaotal que es de 45.37324 t/ha y la biomasa muerta total que es de 27.2 t/ha , esto suma un total (BT) de 72.57324 t/ha

Conociendo la cantidad de biomasa acumulada en la hectárea del cacaotal se determinó la reserva de carbono almacenado en la biomasa multiplicando la biomasa total acumulada por el factor carbono (0.5) cuyo resultado fue de 36.28662 t/ha de carbono.

En el trabajo de investigación que realizaron (Ortiz y Riascos, 2006), en la reserva Indígena de Talamaca ,Costa Rica con el fin de estimar la capacidad de almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao- Laurel(*Cordia alliodora*),en dos condiciones de relieve (valle y loma). La cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (saf-cl) de 126,4 t C ha<sup>-1</sup> en valle y de 114,5 t C ha<sup>-1</sup> en loma bajo la densidad 6x6 m. El carbono promedio almacenado en las densidades 9x9 m y 12x12 m, fue de 109,7 y 97,9 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en un período de 25 años. Se puede observar que los valores de reserva de carbono es mucho más alta que lo encontrado en el presente trabajo que fue de 36.28662 t/ha de carbono, esta diferencia se puede deber a que el trabajo de (Ortiz y Riascos, 2006), evalúa a dos especies que son cacao y laurel establecidas en sistema agroforestal a diferentes densidades de siembra estas dos especies en conjunto tienen mayor capacidad de almacenamiento en comparación al sistema monocultivo de la presente investigación por otra parte la investigación de (Ortiz y Riascos, 2006) considera al carbono almacenado en la biomasa herbácea, y teniendo en cuenta que el cacao solo presenta dicha biomasa en los primeros años, en los años siguientes no presenta este tipo de biomasa ya que el sistema de cacao presenta un colchón de hojarasca que actúa como controlador de malezas o herbáceas.

En la investigación de (Andrade, Figueroa, y Silva, 2013) se estimó el almacenamiento y la fijación de carbono en biomasa arriba del suelo y necromasa de cacaotales de 18 y 35 años de edad en el Centro Universitario Regional del Norte, en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) CURDN. Los cacaotales estudiados almacenaron 28.8 y 33.6 t / C /ha en biomasa arriba del suelo (biomasa aérea) a los 18 y 35 años, respectivamente. El carbono almacenado en necromasa (hojarasca) promedio ascendió a 4.4 t ha<sup>-1</sup>, con diferencias leves entre las edades de las plantaciones (4.1 y 4.5 t C ha<sup>-1</sup> para lotes de 18 y 35 años de edad.

En nuestra presente investigación se encontró que el carbono almacenado en la biomasa arriba del suelo del cacaotal estudiado fue de 22.686612 t c /ha este resultado se asemeja al de la investigación de (Andrade, Figueroa, y Silva, 2013) quien obtuvo 28.8 y 33.6 t C ha en biomasa arriba del suelo(biomasa aérea) a los 18 y 35 años de edad de los cacaotales, esta mayor cantidad de carbono almacenado se debe principalmente a que los cacaotales presentaron una mayor edad en comparación a la edad del cacaotal de la presente investigación que tiene una edad de 6 años.

Asi mismo en la presente investigación el carbono almacenado en la necromasa fue de 13.6 t c /ha mucho mayor a lo encontrado en la investigación de (Andrade, Figueroa, y Silva, 2013) que fue 4.1 y 4.5 t C ha para lotes de 18 y 35 años de edad. Este resultado se puede deber a que el ritmo de descomposición de la materia orgánica es más lento debido a las condiciones de sitio donde se realizó esta investigación generando una mayor acumulación de hojarasca en el suelo.

#### 4.5.Evaluación del carbono fijado en el suelo.

En el cuadro se muestra la cantidad de carbono almacenado en el suelo esto se determinó mediante parámetros como la profundidad de muestreo, la densidad aparente del suelo conjuntamente con la aplicación del método del Walkly Black descrito en la metodología, obteniéndose como resultado una cantidad de carbono almacenado en suelo de 17.73(t C / ha).

**Cuadro 5: Carbono fijado en el suelo.**

Variables estudiadas			
Prof. Muestreo (cm)	Da (g/cm <sup>3</sup> )	% Carbono	CAS(t C / ha)
20	1.8477	0.48%	17.73792
*CAS = carbono almacenado en el suelo			

(Corral *et al.*, 2006). Determino que los suelos de los sistemas agroforestales con café y cacao, son depósitos importantes de carbono (72,5 y 75,7 t/ha respectivamente) , este resultado es elevado en comparación al presente estudio donde se determino que el carbono acumulado en el suelo es de 17.73792 t/ha , la diferencia de cantidad de carbono almacenado se debe a que el estudio de (Corral *et al.*, 2006) evaluo al café y al cacao en combinación con especies forestales esto genera un doble aporte de biomasa al suelo por parte de los componentes del sistema agroforestal, en comparación al sistema mono cultivo del presente trabajo, que solo presenta una fuente de aporte de biomasa al suelo.

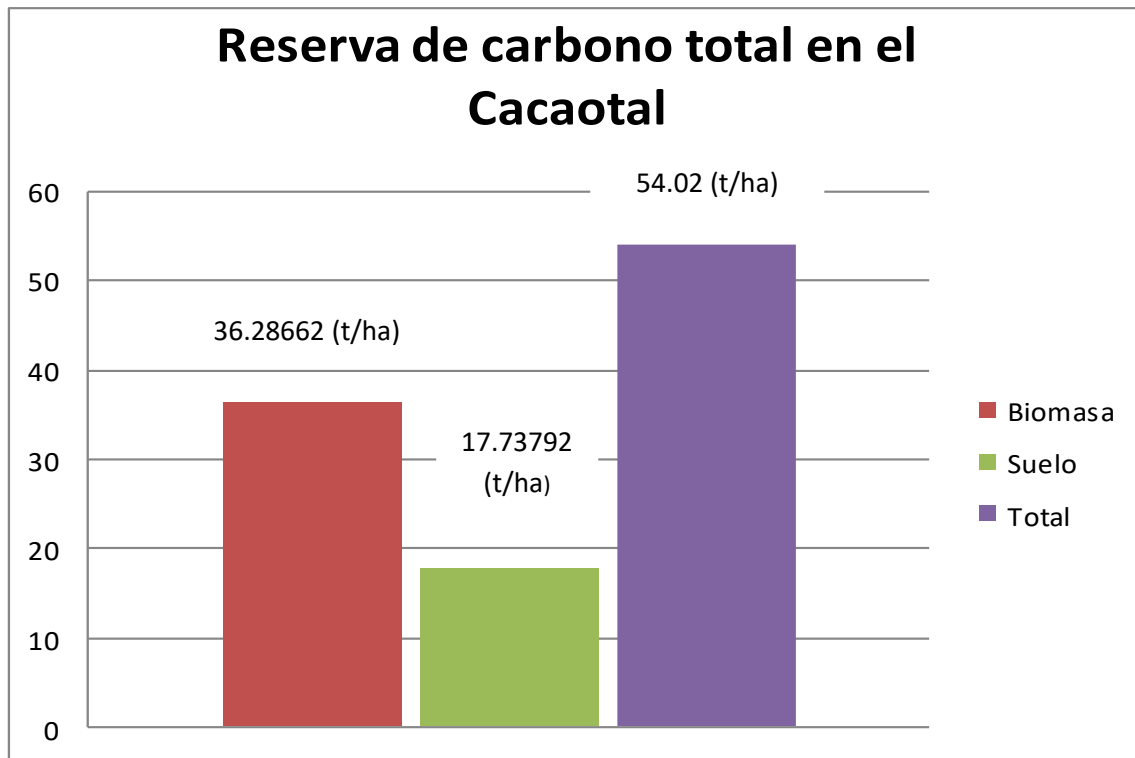


Figura 21: Gráfica donde se presenta de manera general la cantidad de reservas de carbono en las variables estudiadas (Biomasa y suelo)

En la figura 21 se puede ver la cantidad de reserva de carbono en la biomasa y en el suelo en t/ha, de aquí se deduce que la mayor cantidad de reserva se encuentra en la biomasa con 36.28662 t C/ ha esto se debe a que en esa parte se encuentra las hojas que captan el carbono gracias a la actividad fotosintética carbono que luego es fijado en las estructuras de la planta como las mismas hojas los tallos, ramas, frutos que luego formaran la llamada biomasa muerta o necromasa que mediante procesos físicos químicos pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo y por ende del carbono almacenado en el suelo.

En total la reserva de carbono en la biomasa más la reserva de carbono del suelo hacen un total de 54.02 ton/ha almacenada en el cacaotal estudiado.

#### 4.6. Flujo anual de carbono.

En el cuadro 6 se muestra el flujo anual de carbono basándose en la cantidad de biomasa acumulada en la parte aérea y en la necromasa dividida entre la edad de la plantación de cacao evaluada.

**Cuadro 6: Flujo anual de carbono.**

Flujo anual de Carbono
$FAC = CAB / E$
$36.28662 / 6$
6.04777
*FAC= Flujo anual de carbono *E= edad del cacaotal

El flujo de carbono del cacaotal evaluado en este trabajo de investigación tiene un promedio de fluctuación de 6.04777 ton/ha/año, esto está en función de la biomasa acumulada a lo largo del tiempo de crecimiento, esta biomasa varía a causa del tipo de manejo que se le da al sistema como por ejemplo las podas fitosanitarias o de manejo también se puede ver afectada por las cosechas continuas, las fitopatologías que afectan al cultivo, etc.

## V. CONCLUSIONES

- El carbono total almacenado en la hectárea de plantación de cacao (*Teobroma cacao* L) en condiciones de ceja de selva en la “Parcela cacaotera el Paraíso” en el caserío de Santa Cruz distrito de Bellavista - Provincia de Jaén fue de 54.02 t C/ha resultado acumulativo del componente biomasa y suelo.
- El carbono almacenado en la biomasa aérea de la hectárea evaluada de plantación de cacao en sistema de monocultivo de la “Parcela cacaotera el paraíso” en el caserío de Santa Cruz distrito de Bellavista - Provincia de Jaén, fue de 22.68662 t C/ha este resultado se obtuvo de la multiplicación de la biomasa aerea acumulada en la hectárea de plantación de cacao que fue de 45.37324 t/ha por el factor carbono (0.5)
- El carbono almacenado en la necromasa de la hectárea evaluada de plantación de cacao en sistema de monocultivo de la “Parcela cacaotera el paraíso” en el Caserío de Santa Cruz distrito de Bellavista - Provincia de Jaén, fue de 13.6 t C /ha este resultado se obtuvo de la multiplicación de la necromasa que fue de 27.2 t/ha por el factor carbono (0.5)
- El carbono almacenado en el suelo fue de 17.73792 t C/ha.
- El flujo de carbono del sistema fue de 6.04777 t/ha/año.

## VI. RECOMENDACIONES

- Las autoridades Medioambientales debería promover un programa que busque la revaloración de los sistemas productivos con cacao y concientizar a los productores de esta región sobre la importancia de este cultivo frente a la problemática del cambio climático con el fin de que consideren el cultivo del cacao en sus áreas de producción de manera que puedan diversificar el uso de sus tierras y mejorar sus ingresos económicos.
- Por parte de la Universidad Nacional de Jaén se deben realizar trabajos complementarios a este y a los demás temas relacionado a la captura de carbono en los diferentes cultivos y sistemas agroforestales que existen en esta región ,para ello se debería implementar los laboratorios con los equipos necesarios para este tipo de investigaciones.
- Se recomienda concientizar a los productores sobre la importancia que representan los cacaotales en la provisión de servicios ambientales y en la mitigación de los efectos negativos de los gases de efecto invernadero en el medio ambiente así como también su impacto en la economía familiar.
- Los cacaotales resultan ser formas de producción de la tierra con potencial para aumentar el secuestro de carbono y si el cacao es establecido en combinación con especies forestales es decir en arreglo agroforestal aumenta significativamente su tasa de fijación de carbono.
- Se debería considerar por las instituciones ambientalistas la promoción de un cambio de uso del suelo en cultivos degradados como el café en algunas zonas que pueden ser propicias para el cultivo del cacao.
- Para obtener datos más precisos y completos de la cantidad total de carbono almacenado en este tipo de investigaciones se tiene que considerar la evaluación tanto en la parte aérea así como en el suelo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Andrade, F. Figueroa, J. y Silva, D. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao* L.) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroalimentaria*,1(2013) 6-10.
- Andrades, M. Moliner, A. y Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. Logroño, España. Universidad de La Rioja servicio de publicaciones. Obtenido de <file:///C:/Users/Home/Downloads/Dialnet/PracticasDeEdafologia-580696.pdf>.
- Bassham, J. Benson, A. & Calvin, M. (1950). The path of carbon in photosynthesis. California, Berkeley. Obtenido de <http://www.jbc.org/content/185/2/781.full.pdf>
- CACAO MEXICO. (5 de enero de 2017). [cacaomexico.org](http://www.cacaomexico.org). Obtenido de <http://www.cacaomexico.org/>
- Concha, J. Alegre, J. y Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. En el departamento de San Martín, Peru. *Ecología Aplicada*,6(1,2).
- Connolly, R.Y, y Corea, C.A. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria Managua, Nicaragua.
- Corral, R. Duicela, L. y Maza, H. (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Loja, Ecuador .
- Estrada, W. Castellano, X. y Peraza, J (2011). Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. Obtenido de [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/Estrada\\_et\\_al\\_Guia\\_Tecnica\\_Cacao.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf)
- Fajardo, F. (2013). Portal informativo el Cacaotero. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de [http://www.elcacaotero.com.ec/cacao\\_ccn51.html](http://www.elcacaotero.com.ec/cacao_ccn51.html)
- FAO.(2002). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>
- FOCER. (2002). Manual sobre Energía Renovable. Obtenido de <http://www.bionica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf>
- Gelman, F. Binstock, R. y Ludwik, H. (2011). Aplicación de la titulación Walkley-Black para el carbono orgánico. Obtenido de [http://www.gsi.gov.il/\\_uploads/ftp/GsiReport/2011/Gelman-Faina-GSI-13-2011.pdf](http://www.gsi.gov.il/_uploads/ftp/GsiReport/2011/Gelman-Faina-GSI-13-2011.pdf)



Gobierno de España, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado el 5 de enero del 2017. Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>

ICRAF. (2009). Centro Internacional de Investigación Agroforestal ICRAF en America Latina. Obtenido de <http://www.icrafamericalatina.org/nuestros-productos/5capital-esespa%C3%B1ol.html>

IPCC. (2001). Anexo B. Glosario de términos - IPCC. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

Lanz, y Granado. (2009). Diagnóstico Agrosocioeconómico del Sector cacao (*Theobroma cacao* L.) en Yaguaraparo,. Obtenido de [file:/// C:/Users /User /Desktop/ Dialnet-DiagnosticoAgrosocioeconomicoDelSectorCacaoTheobro-3308578%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Desktop/Dialnet-DiagnosticoAgrosocioeconomicoDelSectorCacaoTheobro-3308578%20(1).pdf)

Larrea, G. (2007).Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao.Tesis para octar el titulo de ingeniera ambiental.Universidad Agraria la Molina. Lima,Peru.

López, G. (2017). Sistemas agroforestales. Recuperado el 30 de Mayo de 2018,de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>

M&O CONSULTING S.A.C. (2008). Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en Perú. Obtenido de [http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/estudio\\_potencial\\_genetico.pdf](http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/estudio_potencial_genetico.pdf)

Municipalidad Distrital de Bellavista. (2017) Recuperado el 03 de agosto del 2017. Obtenido de [munibellavistajaen.gob.pe](http://munibellavistajaen.gob.pe).

Ortiz, A. y Riascos, L. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal Cacao *Theobroma cacao* L. y Laurel *cordia alliodora* (ruiz & pavón)Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica.Tesis para optar el título de ingeniero Agroforestal.Universidad de Nariño.San Juan de Pasto,Costa Rica.

Pérez, E y Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos Básicos.Reduca(Biología).Serie Fisiología Vegetal.2(3),1-47pp

Plan Estratégico Concertado de Desarrollo del Distrito de Bellavista. (2004). Obtenido de <http://esmiperu.blogspot.pe/2008/01/el-distrito-de-bellavista-cajamarca.html>

Poveda, V. Orozco, L. Medina, C. Cerda, R. y López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en waslala,Nicaragua.Agroforesteria en la Américas. N°49. Recuperado de

[http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5760/Almacenamiento\\_de\\_carbono\\_en\\_sistemas\\_agroforestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5760/Almacenamiento_de_carbono_en_sistemas_agroforestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ramírez, C.A. Panduro, G. y Miranda, E (2014). Captura de carbono en un sistema agroforestal con *Theobroma cacao* en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali-Pucalpa-Pucallpa-Perú. *Rev.Tzhoeco*.Vol.6/Nº2.180p
- Rubio, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales.Tesis para optar el título de Ingeniero Técnico Agrícola.Universidad de Sevilla, España.221.
- Salazar, S. (2008). Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño (*Castanea sativa* Mill.) de la sierra de Francia. Tesis doctoral.Universidad de Salamaca,España.
- Secretaria de Energía Argentina.(2008). Energía Biomasa.Capital Federal, Argentina. Recuperado de [https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_biomasa .pdf](https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf)
- Segura, M. y Andrade, H. (2008). Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforesteria en la Américas*. Nº46. Recuperado de [http://www.worldcocoafoundation .org/wp-content/uploads/files\\_mf/segura2008b.pdf](http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/segura2008b.pdf)
- Sposito. (1998). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap1.html>
- Zavala, M. Faustino, D.(1968). La estructura económica de una plantación en Venezuela. En: ARCILA FARÍAS, Eduardo y otros. La obra Pía de Chuao, 1568-1825. Caracas: U.C.V. (Universidad Central de Venezuela), Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 1968, pp. 51-112.

## VIII. ANEXOS.

Anexo 1: Coordenadas UTM del área de estudio (hectárea de cacaotal delimitada) en la parcela cacaotera el Paraíso distrito de Santa Cruz provincia de Bellavista.

<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
X	Y
753691	9374520
753675	9374520
753627	9374492
753615	9374502
753597	9374520
753579	9374546
753574	9374578
753593	9374578
753623	9374602
753626	9374604
753613	9374640
753617	9374648
753643	9374644
753664	9374604
753667	9374592
753668	9374576

Anexo 2: Formato para la recolección de datos en campo para la estimación de carbono en la biomasa aérea de las plantas de cacao para el proyecto de tesis” tesis “Estimación de carbono total almacenado en una plantación de *Teobroma cacao* L. en condiciones de ceja de selva”

N° ARBOL	COORDENADA	MSNM	FECHA Y HORA DE MEDICION	Circunferencia del tronco a una altura de 30 cm (C30)	Diametro (D30)
1	17 M 753359 9374277	479 m	28/10/2017 09:40	70	22.29299363
2	17 M 753360 9374274	487 m	28/10/2017 09:45	45	14.33121019
3	17 M 753354 9374263	488 m	28/10/2017 09:47	38	12.10191083
4	17 M 753355 9374260	490 m	28/10/2017 09:49	36	11.46496815
5	17 M 753354 9374268	491 m	28/10/2017 09:51	35	11.14649682
6	17 M 753369 9374275	486 m	28/10/2017 09:56	58	18.47133758
7	17 M 753370 9374260	482 m	28/10/2017 10:00	66	21.01910828
8	17 M 753367 9374261	487 m	28/10/2017 10:04	44	14.01273885
9	17 M 753373 9374276	481 m	28/10/2017 10:09	78	24.84076433
10	17 M 753375 9374268	482 m	28/10/2017 10:11	48	15.2866242
11	17 M 753373 9374257	495 m	28/10/2017 10:18	50	15.92356688
12	17 M 753374 9374272	485 m	28/10/2017 10:22	46	14.64968153
13	17 M 753376 9374271	486 m	28/10/2017 10:24	60	19.10828025
14	17 M 753379 9374265	484 m	28/10/2017 10:24	63	20.06369427
15	17 M 753382 9374259	486 m	28/10/2017 10:26	56	17.8343949
16	17 M 753380 9374257	494 m	28/10/2017 10:29	48	15.2866242
17	17 M 753384 9374262	485 m	28/10/2017 10:31	60	19.10828025
18	17 M 753384 9374270	481 m	28/10/2017 10:32	47	14.96815287
19	17 M 753387 9374264	483 m	28/10/2017 10:35	60	19.10828025
20	17 M 753389 9374260	487 m	28/10/2017 10:36	69	21.97452229
21	17 M 753387 9374258	495 m	28/10/2017 10:38	62	19.74522293
22	17 M 753392 9374257	495 m	28/10/2017 10:40	48	15.2866242
23	17 M 753389 9374256	494 m	28/10/2017 10:41	80	25.47770701
24	17 M 753390 9374259	487 m	28/10/2017 10:44	60	19.10828025
25	17 M 753390 9374264	485 m	28/10/2017 10:45	58	18.47133758
26	17 M 753389 9374261	487 m	28/10/2017 10:46	50	15.92356688
27	17 M 753388 9374266	486 m	28/10/2017 10:47	47	14.96815287
28	17 M 753395 9374267	485 m	28/10/2017 10:48	52	16.56050955
29	17 M 753394 9374260	487 m	28/10/2017 10:49	46	14.64968153
30	17 M 753394 9374254	495 m	28/10/2017 11:00	49	15.60509554

N° ARBOL	COORDENADA	MSNM	FECHA Y HORA DE MEDICION	Circunferencia del tronco a una altura de 30 cm (C30)	Diametro (D30)
31	17 M 753394 9374252	488 m	28/10/2017 11:01	44	14.01273885
32	17 M 753392 9374256	486 m	28/10/2017 11:02	66	21.01910828
33	17 M 753401 9374261	491 m	28/10/2017 11:03	46	14.64968153
34	17 M 753398 9374268	483 m	28/10/2017 11:05	42	13.37579618
35	17 M 753400 9374270	486 m	28/10/2017 11:05	48	15.2866242
36	17 M 753402 9374256	482 m	28/10/2017 11:08	46	14.64968153
37	17 M 753402 9374256	481 m	28/10/2017 11:08	45	14.33121019
38	17 M 753402 9374255	479 m	28/10/2017 11:09	54	17.19745223
39	17 M 753405 9374248	486 m	28/10/2017 11:10	44	14.01273885
40	17 M 753406 9374252	484 m	28/10/2017 11:11	42	13.37579618
41	17 M 753405 9374252	479 m	28/10/2017 11:12	52	16.56050955
42	17 M 753405 9374256	482 m	28/10/2017 11:13	51	16.24203822
43	17 M 753408 9374250	482 m	28/10/2017 11:16	46	14.64968153
44	17 M 753400 9374233	488 m	28/10/2017 11:26	45	14.33121019
45	17 M 753384 9374246	482 m	28/10/2017 11:28	40	12.7388535
46	17 M 753408 9374223	480 m	28/10/2017 11:34	70	22.29299363
47	17 M 753396 9374227	480 m	28/10/2017 11:38	46	14.64968153
48	17 M 753400 9374228	478 m	28/10/2017 11:40	42	13.37579618
49	17 M 753405 9374220	476 m	28/10/2017 11:41	74	23.56687898
50	17 M 753399 9374222	479 m	28/10/2017 11:42	53	16.87898089
51	17 M 753392 9374226	478 m	28/10/2017 11:48	39	12.42038217
52	17 M 753396 9374222	482 m	28/10/2017 11:50	70	22.29299363
53	17 M 753397 9374219	482 m	28/10/2017 11:52	39	12.42038217
54	17 M 753386 9374240	479 m	28/10/2017 11:54	40	12.7388535
55	17 M 753390 9374221	484 m	28/10/2017 12:01	49	15.60509554
56	17 M 753401 9374215	476 m	28/10/2017 12:03	53	16.87898089
57	17 M 753385 9374219	481 m	28/10/2017 12:07	52	16.56050955
58	17 M 753394 9374215	481 m	28/10/2017 12:09	54	17.19745223
59	17 M 753389 9374215	485 m	28/10/2017 12:10	44	14.01273885
60	17 M 753397 9374208	483 m	28/10/2017 12:14	64	20.38216561
61	17 M 753396 9374201	482 m	28/10/2017 12:17	65	20.70063694
62	17 M 753377 9374212	483 m	28/10/2017 12:19	46	14.64968153
63	17 M 753398 9374201	476 m	28/10/2017 12:23	85	27.07006369
64	17 M 753398 9374198	485 m	28/10/2017 12:24	58	18.47133758
65	17 M 753377 9374207	484 m	28/10/2017 12:25	41	13.05732484
66	17 M 753375 9374204	485 m	28/10/2017 12:26	63	20.06369427
67	17 M 753401 9374194	478 m	28/10/2017 12:27	74	23.56687898
68	17 M 753407 9374190	480 m	28/10/2017 12:29	45	14.33121019
69	17 M 753399 9374191	477 m	28/10/2017 12:29	40	12.7388535
70	17 M 753389 9374196	480 m	28/10/2017 12:30	47	14.96815287

N° ARBOL	COORDENADA	MSNM	FECHA Y HORA DE MEDICION	Circunferencia del tronco a una altura de 30 cm (C30)	Diametro (D30)
71	17 M 753383 9374195	481 m	28/10/2017 12:31	47	14.96815287
72	17 M 753384 9374192	478 m	28/10/2017 12:33	60	19.10828025
73	17 M 753390 9374191	477 m	28/10/2017 12:34	60	19.10828025
74	17 M 753401 9374187	477 m	28/10/2017 12:35	55	17.51592357
75	17 M 753369 9374193	481 m	28/10/2017 12:37	49	15.60509554
76	17 M 753378 9374192	481 m	28/10/2017 12:38	75	23.88535032
77	17 M 753389 9374181	479 m	28/10/2017 12:40	46	14.64968153
78	17 M 753385 9374176	487 m	28/10/2017 12:42	43	13.69426752
79	17 M 753377 9374173	485 m	28/10/2017 12:43	62	19.74522293
80	17 M 753373 9374172	485 m	28/10/2017 12:43	65	20.70063694
81	17 M 753369 9374169	484 m	28/10/2017 12:44	43	13.69426752
82	17 M 753348 9374155	475 m	28/10/2017 12:46	45	14.33121019
83	17 M 753350 9374156	476 m	28/10/2017 12:48	46	14.64968153
84	17 M 753348 9374150	491 m	28/10/2017 12:51	51	16.24203822
85	17 M 753352 9374150	489 m	28/10/2017 12:51	42	13.37579618
86	17 M 753359 9374156	487 m	28/10/2017 12:53	49	15.60509554
87	17 M 753362 9374158	489 m	28/10/2017 12:54	50	15.92356688
88	17 M 753365 9374161	485 m	28/10/2017 12:55	44	14.01273885
89	17 M 753368 9374164	479 m	28/10/2017 12:55	40	12.7388535
90	17 M 753377 9374168	482 m	28/10/2017 12:56	52	16.56050955
91	17 M 753391 9374177	487 m	28/10/2017 12:57	40	12.7388535
92	17 M 753408 9374193	483 m	28/10/2017 12:59	52	16.56050955
93	17 M 753415 9374188	484 m	28/10/2017 13:01	60	19.10828025
94	17 M 753415 9374183	484 m	28/10/2017 13:02	64	20.38216561
95	17 M 753390 9374169	478 m	28/10/2017 13:03	73	23.24840764
96	17 M 753380 9374164	480 m	28/10/2017 13:04	46	14.64968153
97	17 M 753364 9374144	484 m	28/10/2017 13:05	60	19.10828025
98	17 M 753374 9374153	486 m	28/10/2017 13:06	40	12.7388535
99	17 M 753378 9374150	485 m	28/10/2017 13:06	62	19.74522293
100	17 M 753386 9374161	479 m	28/10/2017 13:07	60	19.10828025
101	17 M 753390 9374166	476 m	28/10/2017 13:08	62	19.74522293
102	17 M 753407 9374176	475 m	28/10/2017 13:09	74	23.56687898
103	17 M 753413 9374185	478 m	28/10/2017 13:10	42	13.37579618
104	17 M 753409 9374176	481 m	28/10/2017 13:10	80	25.47770701
105	17 M 753374 9374150	481 m	28/10/2017 13:12	60	19.10828025
106	17 M 753371 9374146	482 m	28/10/2017 13:13	53	16.87898089
107	17 M 753392 9374160	479 m	28/10/2017 13:15	56	17.8343949
108	17 M 753405 9374164	478 m	28/10/2017 13:16	60	19.10828025
109	17 M 753417 9374154	481 m	28/10/2017 13:16	50	15.92356688
110	17 M 753407 9374148	485 m	28/10/2017 13:17	64	20.38216561
111	17 M 753396 9374142	486 m	28/10/2017 13:18	50	15.92356688

Anexo 3: Formato para la toma de datos de las muestras de biomasa muerta de cacao para el proyecto de tesis “Estimación de carbono total almacenado en una plantación de Teobroma cacao L. en condiciones de ceja de selva

Muestra de hojarasca	Peso fresco (g)	Cordenada
N°1	255.387	17 M 753383 9374261
N°2	354.225	17 M 753380 9374219
N°3	293.065	17 M 753368 9374196
N°4	175.945	17 M 753346 9374173

Anexo 4: Coordenadas de las muestras de suelo (Densidad aparente)

Muestra de Suelo D.A N°	Cordenada	M.S.N.M	Fecha de recolección
1	17 M 753371 9374262	493 m	04/12/2017 07:38
2	17 M 753387 9374262	491 m	04/12/2017 07:44
3	17 M 753383 9374230	488 m	04/12/2017 07:50
4	17 M 753373 9374217	490 m	04/12/2017 07:54
5	17 M 753375 9374201	494 m	04/12/2017 07:57
6	17 M 753349 9374178	492 m	04/12/2017 08:04
7	17 M 753345 9374169	496 m	04/12/2017 08:08
8	17 M 753370 9374185	498 m	04/12/2017 08:12
9	17 M 753397 9374170	490 m	04/12/2017 08:16
10	17 M 753389 9374148	489 m	04/12/2017 08:20

Anexo 5: Coordenadas de la muestras de suelo (Walkley y black)

Muestra de Suelo P.C N°	Cordenada	M.S.N.M	Fecha de recolección
1	17 M 753379 9374266	495 m	04/12/2017 08:27
2	17 M 753377 9374215	487 m	04/12/2017 08:48
3	17 M 753367 9374191	487 m	04/12/2017 09:00
4	17 M 753345 9374168	488 m	04/12/2017 09:05

Anexo 6: Panel Fotográfico.



Foto 1: Parcela cacaotera el Paraíso lugar donde se llevó a cabo la investigación de tesis.



Foto 2: Plantación de cacao donde se tomaron los datos correspondientes a la investigación (sistema de siembra monocultivo del Clon CCN-51)





Foto 3: Pesado de los reactivos (sulfato ferroso)



Foto 4: Aplicación del Método de Walkley y Black.

$$N_c = \frac{10g}{10.2} = 0.9800$$

$$\% C_{\text{suelo}} = \frac{N (V_b - V_g) \times 0.39}{W_{\text{muestra}}} = \frac{0.9800 (10.2 - 10.1) \times 0.39}{0.208} =$$

$$\% C_{\text{suelo}} = 0.18 \%$$

$$\% M.O. = 0.18 \times 1.72 = 0.31 \%$$

$$\% C_{\text{suelo}} = \frac{0.9800 (10.2 - 10) \times 0.39}{0.208} =$$

$$\% C_{\text{suelo}} = 0.37 \%$$

$$\% M.O. = 0.37 \times 1.72 = 0.64 \%$$

$$\% M.O. = 0.48 \%$$

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
PH	7.83	7.98
T <sup>o</sup>	86 <sup>o</sup> F	84.7 <sup>o</sup> F
CE MS	0.30	0.20

Foto 5: Cálculos para determinar la cantidad de carbono del suelo mediante el método de Walkley y Black.

Anexo 7: Certificado del análisis del suelo por el método de Walkley y Black emitido por el Laboratorio OISKOSLAB.SAC.



ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO  
DE SUELOS Y AGUAS

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 1397-2017

I. - Solicitante : Geoffrey Lin Mondragon Gil

II.- Datos de la Investigación:

"Carbono total almacenado en una plantación de Teobroma Cacao L.  
en condiciones de ceja de selva - Bellavista - Jaén"

III.- Datos de la muestra

Nombre de la parcela : El Paraíso  
Tipo de Muestra : Suelos Agrícola  
Muestreador responsable : Solicitante  
Fecha de Recepción de la muestra : 24/12/2017  
Centro Poblado : Santa Cruz  
Distrito : Bellavista  
Provincia : Jaén  
Región : Cajamarca

II.- Cuadro de Resultado.

Parámetro	Unidades	Muestra	Metodología
Carbono	%	0.28	Walkley & Black
Materia Orgánica	%	0.48	Walkley & Black
Potencial de Iones Hidrógeno	Sin Unidades	7.91	Electrodo de Ión selectivo

  
 **Jorge A. Delgado Soto**  
ING. RESPONSABLE  
CIP. 56757 