

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA



**CARBONO SECUESTRADO EN BIOMASA Y SUELO DE DOS
ECOTIPOS DE *Plukenetia volubilis* L. “sacha inchi” A CUATRO
DENSIDADES DE SIEMBRA EN TINGO MARÍA**

TESIS

Para optar al Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA
MENCION GESTIÓN AMBIENTAL**

SALLI QUIÑONEZ ALVARADO

Tingo María – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCION



Av. Universitaria Km. 1.5 - S/N - Telefax (062) 561070 Email: epgunas@hotmail.com

"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo" "UNAS, Primer Lugar en la Amazonía Peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad universitaria siendo las 11.00 a.m. del día viernes 19 del mes de Setiembre de 2011, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la UNAS, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"SECUESTRAMIENTO DE CARBONO EN DOS ECOTIPOS DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis*) A CUATRO DENSIDADES DE SIEMBRA Y PROFUNDIDAD DEL SUELO EN TINGO MARIA".

Los jurados de tesis acuerdan modificar el título de la tesis con la siguiente denominación: **CARBONO SECUESTRADO EN BIOMASA Y SUELO DE DOS ECOTIPOS DE *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi" A CUATRO DENSIDADES DE SIEMBRA EN TINGO MARIA**

A cargo del candidato al **Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología con Mención en Gestión Ambiental**, Ingeniero **SALLI QUIÑONEZ ALVÁRADO**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**.

Acto seguido, a horas 7. 17 p.m., el Presidente dio por levantado el acto; procediéndose a la Suscripción de la presente Acta por parte de los miembros integrantes del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
M.Sc. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
Presidente del Jurado

.....
M.Sc. CARLOS E. HUATUCO BARZOLA
Asesor

.....
M.Sc. MANUEL NIQUE ALVAREZ
Miembro del Jurado

.....
M.Sc. PEDRO VEJARANO JARA
Miembro del Jurado

CARLOS ERNESTO
HUATUCO BARZOLA
INGENIERO AGRONOMO
Reg. CIP N° 64911

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por su infinita bondad y bendición prodigada a mi persona y mis seres queridos, en Él reposa mi fortaleza.

A mis queridos padres, Alberto Quiñonez y Lidia Alvarado, por su invaluable amor, por su ejemplo de trabajo que me han enseñado que con sacrificio y esfuerzo se alcanza el éxito.

A mi esposo Percy Pérez, por su apoyo y aliento, a mis queridas hijas Tamara y Zoe que son el tesoro más grande que Dios me ha dado, las amo por siempre.

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. M. Sc. Carlos Huatuco Barzola, asesor del presente trabajo, por sus acertadas orientaciones y sugerencias.
- Al Ing. M. Sc. David Guarda Sotelo, coa-asesor del presente trabajo, por su desinteresada colaboración.
- A los miembros integrantes del jurado, Ing. M. Sc. Ytavclerh Vargas Clemente, Blgo. M. Sc. Manuel Ñique Álvarez, Ing. M. Sc. Pedro Vejarano Jara e Ing. M. Sc. José Blas Matienzo.
- Al Ing. Ronel Hidalgo Huertas, propietario del terreno donde se instaló el experimento.
- Al Sr. Lincoln Moreno Grández, por su apoyo incondicional en el mantenimiento del campo experimental.
- Al personal técnico del Laboratorio de Suelos Sr. Concepción Ariza Espinoza, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- A todas las persona que de una y otra manera han contribuido para culminar el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1. Características del sachá inchi.....	20
2.1.1. Clasificación taxonómica	20
2.1.2. Distribución geográfica	20
2.1.3. Características morfológicas.....	21
2.1.4. Biología floral y fenología.....	22
2.1.5. Ecotipos y variabilidad genética.....	23
2.1.6. Manejo agronómico	25
2.1.6.1. Requerimientos edafoclimáticos.....	25
2.1.6.2. Formas de propagación	27
2.1.6.3. Sistemas de cultivo	28
2.1.6.4. Plagas y enfermedades.....	29
2.1.6.5. Densidad de siembra, cosecha y rendimiento ...	30
2.1.7. Utilidad de la semilla de sachá inchi	32
2.2. Ciclo del carbono	35
2.2.1. Ciclo geoquímico del carbono.....	36
2.2.2. Ciclo biológico del carbono	38
2.3. Secuestro de carbono en ecosistemas terrestres	42
2.3.1. Carbono secuestrado en cultivos agrícolas.....	42
2.3.2. Carbono secuestrado en plantaciones forestales	46
2.3.3. Carbono secuestrado en ecosistemas naturales.....	47

2.4.	Medición de reservas de carbono	49
2.4.1.	Medición de carbono del suelo	49
2.4.1.1.	Materia orgánica y carbono del suelo	49
2.4.1.2.	Método de combustión húmeda	51
2.4.1.3.	Método de combustión seca.....	51
2.4.2.	Medición de carbono en biomasa aérea	51
2.5.	Mercado de carbono	53
2.5.1.	Convenciones y el protocolo de Kyoto	53
2.5.2.	Acceso al mercado de carbono.....	54
2.5.3.	Tamaño del mercado de carbono	54
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	56
3.1.	Descripción del área experimental	56
3.1.1.	Ubicación.....	56
3.1.2.	Topografía y características del suelo.....	57
3.1.3.	Descripción ecológica del sitio	57
3.1.4.	Condiciones climáticas	58
3.1.5.	Antecedentes de uso de suelo.....	58
3.2.	Materiales y equipos	58
3.2.1.	Materiales	58
3.2.2.	Equipos	59
3.3.	Metodología	59
3.3.1.	Componentes en estudio	59
3.3.2.	Diseño experimental	59
3.3.3.	Tratamientos en estudio	60
3.3.4.	Dimensiones de área experimental.....	61
3.3.5.	Ejecución del experimento en campo	65

3.3.6. Variables evaluadas	67
IV. RESULTADOS	71
4.1. Carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., a cuatro densidades de siembra.....	71
4.2. Carbono en el suelo en dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instaladas a cuatro densidades de siembra.....	77
4.3. Rendimiento en semilla de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instalados a cuatro densidades de siembra	81
V. DISCUSIÓN.....	86
5.1. Del carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instalados a cuatro densidades de siembra	86
5.2. Del carbono en el suelo en dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instalados a cuatro densidades de siembra	92
5.3. Del rendimiento en semilla de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instalados a cuatro densidades de siembra	98
VI. CONCLUSIONES	101
VII. RECOMENDACIONES	102
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	103
IX. ANEXO	113

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Componentes del grano semillero de <i>Plukenetia volubilis</i> L	22
2. Germinación de <i>Plukenetia volubilis</i> L., con testa (CT) y sin testa (ST) probadas en semillas provenientes de Tarapoto y Ucayali	27
3. Principales plagas y enfermedades que afectan a <i>Plukenetia volubilis</i> L., reportadas en la región San Martín	30
4. Rendimiento en semillas de <i>Plukenetia volubilis</i> L., según sistema de tutoraje y densidad de siembra en Tarapoto.....	32
5. Componentes nutritivos y ácidos grasos esenciales presentes en semillas de <i>Plukenetia volubilis</i> L	33
6. Perfil de aminoácidos en harina de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	34
7. Reservas totales de carbono en ecosistemas terrestres.....	37
8. Flujo total de carbono en procesos biogeoquímicos	38
9. Valores anuales de absorción de CO ₂ y carbono asimilado en plantas de maíz, cebada, trigo y avena	43
10. Reservas de carbono en cultivos agrícola de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Indonesia.....	44
11. Reservas de carbono en cultivos agrícolas de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Loreto.....	44
12. Reservas de carbono en cultivos agrícolas de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Ucayali	45

13. Reservas de carbono en <i>Brachiaria decumbens</i> y bosque secundario en varias profundidades de suelo en el trópico húmedo	45
14. Reservas de carbono en plantaciones forestales para diferentes usos prominentes en el trópico	46
15. Estimación de biomasa en peso seco y carbono fijado en parte aérea de plantaciones forestales en provincias del Ecuador	47
16. Reservas de carbono en ecosistemas naturales intervenidas y sin intervenidas en el trópico húmedo	48
17. Reservas de carbono en ecosistema boscoso en la amazonia peruana, bosque intervenido y sin intervenir-Yurimaguas.....	48
18. Reservas de carbono en ecosistema boscoso en la amazonia peruana, bosque intervenido y sin intervenir-Pucallpa.....	49
19. Descripción de partida de propiedades físico-químicos de suelo del área experimental fundo Hidalgo	57
20. Fuentes de variación para análisis de varianza con arreglo factorial de ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., y densidad de siembra.....	60
21. Tratamientos en estudio para la combinación del tipo de ecotipo y niveles de densidad de siembra de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	61
Análisis de varianza del carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad	
22. Análisis de varianza del carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad	72

23. Prueba de varianza de efectos simples sobre el carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad	74
24. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para los efectos del secuestro de carbono en biomasa de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., instalados en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad	76
25. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de ecotipos en el secuestro de carbono en biomasa de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	77
26. Resumen de análisis de varianza del secuestro de carbono en suelo de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	78
27. Resumen de análisis de varianza de efectos simples para el secuestro de carbono en suelo de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	78
28. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el estudio de efectos simples del secuestro de carbono en suelo de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L, en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad	79
29. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de ecotipos (A) en el secuestro de carbono en suelo de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	80
30. Resumen de análisis de varianza del rendimiento de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., a cuatro densidades de siembra	81

31. Resumen de análisis de varianza de efectos simples en el rendimiento de semillas de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., sembradas a cuatro densidades de siembra.	82
32. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el rendimiento de semillas de dos ecotipos de <i>Plukenetia volubilis</i> L., sembrados a cuatro densidades de siembra.....	83
33. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de dos ecotipos (A) en el rendimiento de <i>Plukenetia volubilis</i> L.	84
34. Rendimiento de semillas limpias de dos ecotipos (A) de <i>Plukenetia volubilis</i> L., en cuatro densidades de siembra.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Ejemplar de <i>Plukenetia volubilis</i> Linneo, ecotipo Pinto Recodo en etapa de fructificación y floración.....	24
2. Fruto y floración de <i>Plukenetia volubilis</i> L., ecotipo Alto Mayo.....	25
3. Flujos estimados de reservorios dentro del ciclo del carbono	35
4. Dinámica del carbono en el suelo, de BALESIDENT <i>et al.</i> (2000)	39
5. Efecto de la relación C:N sobre actividad microbiana y la disponibilidad de NO ₃ ⁻ , de BLANCK (1975)	40
6. Esquema de ubicación del área experimental fundo Hidalgo.....	56
7. Curva de precipitación (mm) y temperatura (°C) durante los meses de evaluación setiembre 2007 - octubre 2008	58
8. Croquis del campo experimental	63
9. Distribución de plantas de <i>Plukenetia volubilis</i> L en la parcela T ₁ y T ₅	64
10. Distribución de plantas de <i>Plukenetia volubilis</i> L en la parcela T ₂ y T ₆	64
11. Distribución de plantas de <i>Plukenetia volubilis</i> L en la parcela T ₃ y T ₇	64
12. Distribución de plantas de <i>Plukenetia volubilis</i> L en la parcela T ₄ y T ₈	
13. Muestreo de suelo para su análisis de partida en el campo experimental antes de instalación de sachá inchi	117
14. Obtención de muestra de suelo para la densidad aparente del suelo de la parcela experimental.....	117

15. Germinación de las semillas de sachá inchi por tratamiento, colocadas sobre el suelo a 3 cm de profundidad	118
16. Plantación de sachá inchi de 6 meses de edad con sus respectivos tutores vivos de <i>Erythrina</i>	118
17. Fructificación en la planta de sachá inchi ecotipo Pinto Recodo	119
18. Fruto maduro seco de sachá inchi ecotipo Pinto Recodo	119

RESUMEN

Con el propósito de poder determinar la cantidad de carbono secuestrado en biomasa seca, suelo y rendimiento en semillas de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., a cuatro densidades de siembra se realizó un experimento entre los meses de octubre 2007 a septiembre de 2008 en el fundo agrícola Hidalgo, ubicado en coordenadas 39°14'39" latitud sur y 75°59'37.9" longitud oeste a una altitud promedio de 630.5 msnm dentro del ámbito de la localidad de Naranjillo capital del distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado en la región Huánuco. La parcela experimental se ubicó en zona de vida: bosque muy húmedo pre montano tropical (bmh-PT). El suelo resultó ser franco limoso (Fo.Lo), terraza baja con reacción pH 5.80 ligeramente acida con antecedente de uso pasto de corte de 15 años de edad. Ahí se trabajó con un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo factorial para los ecotipos a_1 = Pinto Recodo y a_2 = Alto Mayo a cuatro densidades de siembra d_1 = 1667 pl.ha⁻¹, d_2 = 1333 pl.ha⁻¹, d_3 = 1111 pl.ha⁻¹ y d_4 = 952 pl.ha⁻¹, repartidos en 3 réplicas (bloques). La contrastación de medias se sometió a prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05.

Las variables respuesta evaluadas tras doce meses de siembra fueron: Carbono secuestrado en biomasa seca de hoja, tallo, fruto y raíz para cual se obtuvo muestra representativa con el método destructivo ARAUJO *et al.* (1999), y para el cálculo del carbono se empleó la metodología de SCHLEGEL *et al.* (2001). Para valorar el carbono en el suelo se consideró la evaluación a 3 profundidades (0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm), utilizando la técnica de WALKLEY and BLACK (1934). El carbono se calculó con la metodología propuesta por RUGNITZ *et al.* (2009). El rendimiento fue medido en peso t.ha⁻¹ de semillas limpias obtenidas de cada parcela y extendidas a hectáreas.

Los resultados determinaron que el secuestro de carbono en biomasa seca de hoja, tallo, fruto y raíz de *Plukenetia volubilis* L., no sostuvo influencia para los ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo a 12 meses de evaluación. Sin embargo, la densidad de siembra si influyó significativamente, siendo la densidad de 1666 pl.ha⁻¹ con el ecotipo Pinto Recodo la combinación con mayor cantidad de carbono secuestrado totalizando 2.47 tC.ha⁻¹. El peor resultado se obtuvo para el ecotipo Pinto Recodo a 952 pl.ha⁻¹ logrando secuestrar solo 1.38 tC.ha⁻¹ de carbono en biomasa seca.

No fue significativa la diferencia del carbono en el suelo a profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm para el efecto del ecotipo Pinto Recodo en comparación con el ecotipo Alto Mayo. Asimismo, para las mismas profundidades de suelo, tampoco la densidad de siembra influyó en la cantidad de carbono secuestrado a 12 meses tras la siembra. No obstante, se encontró mayor cantidad de carbono en el suelo a profundidad de 0-20 cm con rangos de 67.56 – 50.88 tC.ha⁻¹, de 20-40 cm rangos de 43.8-25.8 tC.ha⁻¹ y de 40-60 cm rangos de 33.12-13.80 tC.ha⁻¹ para el mismo periodo de evaluación en el cultivo de sachá inchi.

En relación al rendimiento de sachá inchi, el ecotipo Alto Mayo con una densidad de 952 pl.ha⁻¹ resultó ser superior a las demás combinaciones con 0.42 t.ha⁻¹, quedando en el último lugar el ecotipo Pinto Recodo con una densidad de siembra de 952 pl.ha⁻¹ y un rendimiento de 0.096 t.ha⁻¹.

Palabras claves: Sachá inchi, ecotipos de *Plukenetia volubilis*, densidades de siembra, carbono secuestrado en biomasa seca, carbono del suelo.

ABSTRACT

With the purpose of being able to determine the amount of carbon sequestered in dry biomass, soil and seed yield, in two ecotypes of *Plukenetia volubilis* L. at four planting densities, an experiment was conducted from October 2007 to September 2008 on the Hidalgo agricultural farm with coordinates 39°14'39" south latitude and 75°59'37" west longitude at an average altitude of 630.5 masl, within the limits of the town of Naranjillo, capital of the Luyando district, Leoncio Prado province, Huánuco region, Peru. The experimental plot was located in a life giving zone: tropical, very wet, pre mountain, forest (bmh-PT acronym in Spanish). The soil was silty loam (Fo.Lo acronym in Spanish), on a low terrace with a slightly acidic 5.80 pH reaction; previously used for fifteen years for short grass. The work was done with a randomized complete block experimental design (RCB; DBCA in Spanish) with a factorial arrangement for the ecotypes of: a_1 = Pinto Recodo and a_2 = Alto Mayo at four planting densities: d_1 = 1667 pl.ac⁻¹, d_2 = 1333 pl.ac⁻¹, d_3 = 1111 pl.ac⁻¹ and d_4 = 952 pl.ac⁻¹; divided into 3 replicates (blocks). The contrasting of means was submitted to the Duncan test at a significance level of 0.05.

The response variables, evaluated twelve months after planting, were: carbon sequestered in leaf, stem, fruit and root dry biomass; for which, a representative sample was obtained using the destructive method, ARAUJO *et al.*, (1999) and for the calculation of carbon, the Schlegel *et al.* methodology was used (2001). To evaluate the carbon in the soil, an assessment at three depths (0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm) was done using the, WALKLEY and BLACK technique (1934). The carbon was calculated with the method proposed by RUGNITZ *et al.* (2009). The yield was measured in weight, t.ac⁻¹, of clean seeds obtained from each parcel and extended to acres.

The result showed that the carbon sequestered in leaf, stem, root and fruit dry biomass of *Plukenetia volubilis* L., did not sustain influence for the Pinto Recodo and Alto Mayo ecotypes during twelve months of assessments. However, the planting density did have a significant influence, with a 1666 pl.ac⁻¹ density for the Pinto Recodo ecotype being the combination with greatest amount of carbon sequestered, totaling 2.47 tC.ac⁻¹. The worst result was obtained by the Pinto Recodo ecotype at 952 pl.ha⁻¹; sequestering only 1.38 tC.ac⁻¹ of carbon in dry biomass.

For the effect of the Pinto Recodo ecotype in comparison to the Alto Mayo ecotype, there was no significant difference in the carbon in the soil at depths of 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm. Likewise, for the same soil depths, the planting density did not influence the amount of carbon sequestered at twelve months after planting. Nevertheless, greater quantities of carbon was found in the soil with a depth of 0-20 cm, with ranges of 67.56 – 50.88 tC.ha⁻¹ than at 20-40 cm, which had ranges of 43.8-25.8 tC.ac⁻¹ and 40-60 cm with ranges of 33.12-13.80 tC.ac⁻¹, for the same evaluation period of the sacha inchi.

In relation to the yield of Sacha inchi, the Alto Mayo ecotype, with a density of 952 pl.ac⁻¹, resulted to be superior to the rest of the combinations with 0.42 t.ac⁻¹, with the Pinto Recodo ecotype finishing in last place with a planting density of 952 pl.ha⁻¹ and a yield of 0.096 t.ac⁻¹.

Keywords: Sacha inchi, *Plukenetia volubilis* ecotypes, planting densities, carbon sequestered in dry biomass, carbon in the soil.

I. INTRODUCCIÓN

Según expertos, el secuestro de carbono en la actualidad es tema de relevancia mundial por constituir la única alternativa para mitigar el cambio climático, siendo este último consecuencia del calentamiento global de la tierra (METZ *et al.*, 2005). La excesiva acumulación de carbono bajo formas moleculares de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO), ha sido generada directamente por la dependencia energética del hombre sobre fuentes fósiles de energía como: Carbón mineral, hidrocarburos y últimamente esquisto, cuyos sub productos de combustión encrudecen el calentamiento global con efectos negativos devastadores a largo plazo. Al respecto, la Conferencia Mundial sobre el Clima de Ginebra En 1979, consideró por primera vez que el cambio climático era una amenaza real para el planeta. Consecuentemente en 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, (Cumbre de Rio de Janeiro), estableció bases para el Protocolo de Kyoto en 1997, donde los países industrializados adquirieron compromisos concretos para reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) siendo el más importante el CO₂ (RUBIN *et al.*, 2005). Así, dicho acuerdo estableció mecanismos para lograr la reducción de las emisiones de carbono para todos los países miembros.

Planteamiento del problema. En el contexto nacional, la problemática del carbono atmosférico ha sido poco discutido y estudiado, no obstante, según estimaciones del Banco Central de Reserva del Perú, se ha estimado que a causa del cambio climático un aumento de 2°C en la temperatura máxima y 20% en la variabilidad de las precipitaciones al 2050 generaría una pérdida de 6.0% respecto al PBI peruano en el año 2030 (VARGAS, 2009). Si bien es cierto que los efectos del calentamiento son de índole global, no es desmerecedor tomar acciones y sumar esfuerzos proponiendo alternativas de mitigación en actividades compatibles a nuestro entorno, y así lograr contrarrestar los posibles efectos adversos, sobre todo en la actividad agrícola. Los primeros estudios sobre cambio climático, resultado del calentamiento

global actual, fueron emprendidos alrededor de 1958. Las primeras mediciones de CO₂ mostraron resultados no alarmantes, generando ello falsa creencia científica, pues se creía que los océanos y los bosques tenían la capacidad de absorber todos los gases que se producía en el planeta. No obstante, ya en el año 1896 Svante Arrhenius propuso que la quema de los combustibles fósiles produce el calentamiento global debido a efecto invernadero. Este hecho se comprobó en 1961 tras múltiples estudios que determinaron que la concentración de CO₂ estaba en aumento (CRAIG *et al.*, 2008).

Justificación. Por su reconocida biodiversidad nuestro país nos ha prodigado siempre una ingente gama de recursos naturales, de manera especial la región selvática que por su extensión podría convertirse en fuente sostenible de despensa, tanto para suplir demanda alimenticia y de otros productos para su procesamiento industrial. Así, en los últimos diez años se ha visto como suscita importancia una Euphorbeacea muy endémica de la selva del Perú, conocido como maní del inca, o sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Las cualidades de esta especie son muy variadas, la semilla sirve como alimento, y en algunas provincias de manera local se está incorporando en la preparación de diversos platos por su calidad nutritiva, gracias al contenido alto de proteínas, ácidos grasos esenciales (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E, superando inclusive a los mejores semillas oleaginosas (BETANCOURTH, 2009). Lamentablemente los esfuerzos son pocos para promocionar el consumo del sacha inchi, existiendo en los mercados cremas y aceites con fines generalmente terapéuticos y estéticos. Es importante precisar, que esta especie crece en suelos relativamente degradados, tolerante a la acidez, por lo tanto podría incorporar grandes extensiones de suelos deforestados a una actividad económicamente rentable. Actualmente, las zonas que producen sacha inchi son: San Martín, Huánuco, Ucayali, Madre de Dios, Loreto, Amazonas, Pasco, Junín y Cusco, con escasas plantaciones y una tecnificación casi nula. Una proyección de oferta de semillas tendría que atender por ejemplo al mercado japonés y europeo con una demanda de 20 mil toneladas de aceite/año (HIGUCHI, 2006).

Por las consideraciones señaladas, el trabajo de investigación quiso experimentalmente determinar el potencial de secuestro de carbono

tanto en la producción de biomasa vegetal aérea y suelo dentro del cultivo de *Plukenetia volubilis* L. En esta razón, se utilizó ecotipos de comprobada precocidad y productividad como son “Pinto Recodo” y “Alto Mayo” el cual se manejó a distintas densidades de siembra, probando la hipótesis de investigación: “el ecotipo y la densidad de siembra de sachá inchi afecta la cantidad de carbono secuestrado a nivel de planta y suelo” lo cual nos llevó a plantear los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

- a. Determinar el carbono secuestrado en la biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instaladas a cuatro densidades de siembra.
- b. Determinar carbono en el suelo en dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instaladas a cuatro densidades de siembra.
- c. Evaluar el rendimiento y rentabilidad de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instaladas a cuatro densidades de siembra.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características del sachá inchi

2.1.1. Clasificación taxonómica

Según el sistema filogenético de Engler y Prantl (1964) citado por MACBRIDE (1995) en su publicación *Euphorbiaceae, flora of Perú*, establece la clasificación taxonómica del sachá inchi de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae.
División	:	Angiospermae.
Clase	:	Dicotyledoneae
Orden	:	Euphorbiales.
Familia	:	Euphorbiaceae.
Género	:	<i>Plukenetia</i> .
Especie	:	<i>P. volubilis</i> L.

2.1.2. Distribución geográfica

La familia Euphorbiaceae abarca alrededor de 1280 géneros con 8000 especies aproximadamente distribuidos en todo el orbe. Particularmente, el género *Plukenetia* spp., comprende 31 especies y ha sido reportado en Asia, África, América del Sur y Central (RANGEL, 2009). El número de especies reportadas en el trópico sudamericano varía de 7 a 12 especies. En América del Sur, la presencia de *Plukenetia volubilis* L., ha sido registrada en Colombia, Venezuela, Brasil, Bolivia, Ecuador, Antillas Menores y Surinam. Estudios sugieren como centro de origen del sachá inchi a la selva y ceja de selva del llano amazónico sudamericano, circunscritos en nichos ecológicos amplios determinados por la intensidad de precipitación y temperatura (Gómez, 2005 citado por RANGEL, 2009). Estudios en fitogeografía realizados en nuestro país han reportado la presencia del maní del inca en la selva, desde los 80 msnm hasta una altitud de 1800 msnm se ha encontrado en Madre de Dios, Huánuco, Oxapampa, San Martín, Rodríguez de Mendoza, Cuenca del Ucayali (Pucallpa, Contamana y Requena), en Putumayo y alrededores de Iquitos y

Caballococha, donde se observó ingesta de hojas crudas o cocidas por los pobladores nativos de la amazonía, particularmente los huitotos. En San Martín se le encuentra a lo largo de la Cuenca del Huallaga hasta Yurimaguas, en el Alto Mayo, Bajo Mayo, Sub Cuenca del Cumbaza y en áreas del sector Lamas-Shanusi (ARÉVALO, 2008; RANGEL, 2009). Otros investigadores reportaron importante presencia de la especie en Selva Central, específicamente en las zonas medias o bajas de Pichanaki y Perené, de la provincia de Chanchamayo y gran parte de la provincia de Satipo (AGUILAR *et al.*, 2009).

2.1.3. Características morfológicas

La morfología de esta especie esta descrita por DOSTER *et al.* (2009), quienes refieren que *Plukenetia volubilis* L., es monoica decidua semi leñosa, perenne, enredadera con prominente hábitos trepadores. Por estas características la especie necesita sostenerse sobre otras plantas (tutor) que le sirven de sostén. Por su hábito trepador puede alcanzar la altura del tutor que lo cobija, por ello en cultivo se debe establecer tutores y espalderas para limitar su desarrollo hasta una altura de 1.7-2.0 m. Otra característica resaltante de esta especie es la presencia de una sustancia lechosa, tipo látex que se observa en tallos, hojas y frutos cuando están inmaduros. Las hojas son alternas, acorazonadas, aseruladas y pinnitinervias con bordes dentados, puntiagudas, de 10 a 12 cm de largo y 8 a 10 cm de ancho, con pecíolos de 2 cm a 6 cm de largo. Las flores masculinas son pequeñas, blanquecinas y dispuestas en racimos. En la base del racimo y lateralmente, se encuentran una a dos flores femeninas. Los frutos son cápsulas de 3 a 5 cm de diámetro con 4 a 7 puntas, son de color verde y al madurar marrón negruzco. Usualmente están formados por cuatro lóbulos, pero algunos presentan cinco y hasta siete. Dentro de estas se encuentran las semillas o almendras, ovales, de color marrón-oscuro, de 1.5 a 2.0 cm de diámetro y de 0.8 g a 1.4 g de peso ligeramente abultadas en el centro y aplastadas hacia los bordes. Según ARÉVALO (2008), al abrir las semillas de sachá inchi los cotiledones están cubiertos de una película muy fina blanquecina de sabor muy astringente. Las proporciones del contenido alimenticio utilizable (Cuadro 4) respecto de la cáscara alcanzan el 53% superior a muchas semillas oleaginosas.

Cuadro 1. Componentes del grano semillero de *Plukenetia volubilis* L.

Componentes del grano	Porcentaje (%)
Pericarpio (cascara)	44.00
Almendra (semillas)	53.00
Tegumento	3.00

Fuente: AREVALO (2008).

2.1.4. Biología floral y fenología

El estudio de la biología floral de *Plukenetia volubilis* L., revela que la apertura de la flores es diurna y que las flores estaminadas de esta especie se abren entre las 5:00 am a 5:30 am y permanecen así por espacio de 35 y 48 horas. La polinización cruzada (alogamia) es el sistema reproducción predominante, lo cual nos indica que existe una alta variabilidad genética en *Plukenetia volubilis* L., ocasionando una pérdida gradual de la capacidad de autofecundación de las flores. Para DOSTER *et al.* (2009), el poder germinativo en condiciones de medio ambiente y al aire libre, la semilla se conserva por un año, asimismo el autor afirmo que en Selva Central la duración y vialidad de la semilla es mayor de un año cuando se almacena sin quitarle la cápsula que es de naturaleza semi leñosa muy dura. En líneas generales, se reconoce ampliamente que la germinación del sachá inchi se inicia a los 14-18 días, la emisión de guías es a partir de 48-50 días, el inicio de floración de 88 a 135 días, el inicio de fructificación se desarrolla entre los 122 a 168 días, y finalmente el comienzo de cosecha es a partir de los 180-220 días a un nivel de manejo agronómico medio a óptimo (AGUILAR *et al.*, 2009).

Investigaciones en variables fenológicos fueron desarrollados para determinar el periodo vegetativo de clones altamente productivos, destacando en precocidad el clon Caballococha que inició su floración a 50 días después del trasplante; en inicio de fructificación destaca el clon Chazuta a 82 días después del trasplante. Para el caso del inicio de floración los resultados presentan una varianza de 0.58; desviación estándar 0.76; media de 51.50 y C.V de 1.48%. Por otro lado, el inicio de fructificación para éstos clones presenta una varianza de 5.51, desviación estándar de 2.35, media de 86.45, y C.V de 2.72% (CACHIQUE y RUIZ, 2008).

2.1.5. Ecotipos y variabilidad genética

Debido a su amplia distribución geográfica *Plukenetia volubilis* L., presenta amplia variabilidad genética. Se han descrito cerca de 15 ecotipos que difieren en área de follaje, tamaño y forma de sus hojas, frutos, tamaño de semillas, así como en su capacidad de producción por planta y contenidos de aceite en la semilla (MANCO, 2006). HAROLDO (2009), utilizando marcadores moleculares tipo Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP) determinó alta variabilidad genética en 37 accesiones provenientes del banco de germoplasma de Embrapa Amazonia Occidental, localizado en el municipio de Manaus en Brasil. En otro estudio, utilizando marcadores tipo Inter Simple Sequence Repeats (ISSR) se ha podido obtener 16 bandas polimorfas de plantas provenientes de zonas cercanas a Pucallpa (Krivankova *et al.*, 2002 citado por HAROLDO, 2009). Otros trabajos han descrito en la región Ucayali variedades tipo Lama y Shanao cuyas características son: humedad 8.5%, proteína 27.4%, aceite 41.7%, cenizas 2.1%, fibra 2.6%, carbohidratos 17.7% para la variedad Lama y, humedad 7.9%, proteína 25.8%, aceite 40.5%, cenizas 2.0%, fibra 3.0%, carbohidratos 20.8% para la variedad Shanao. Actualmente la Estación Experimental El Porvenir está recomendando los siguientes ecotipos: Pinto Recodo, Cumbaza, Tambo Yaguas y Río Putumayo, los cuales están siendo caracterizados conjuntamente con otros ecotipos (BORBOR, 2009).

- Ecotipo Pinto Recodo: Este ecotipo recibe el nombre toponímico de Pinto Recodo en relación al distrito de la provincia de Lamas en la región San Martín. Las características principales de este ecotipo son: hojas alternas, acorazonadas, aseruladas, trinervadas con una nervadura central dirigida al ápice acuminado, así mismo en la base del limbo presenta dos glándulas laterales (conteniendo en las mañanas gotitas de azúcares orgánicos) y una pequeña proyección intermedia denominada estipela. Las flores son hermafroditas, monoicas, las flores masculinas son pequeñas, blanquecinas y dispuestas en racimos, en la base del racimo y lateralmente se encuentra una, dos y hasta tres flores femeninas. Los frutos son cápsulas dehiscentes, distribuidas en lóculos, el número de lóculos para este ecotipo es

de 4 a 5. La semilla tiene forma ovalada de color marrón-oscuro, abultada hacia el centro y aplastada hacia los costados, al abrir la testa de la semilla se tiene a la almendra de color blanco que está protegida por una película blanquecina. (RISCO, 2008). La germinación de semillas en este ecotipo va de 20 a 40 días (CANAVIRI, 2009), 14 a 22 días (VILLCA, 2006) y la floración entre los 90 a 140 días después de la siembra, la fructificación empieza entre los 125 a 183 días, finalmente la madurez de cosecha se da a los 207 a 240 días después de la siembra. En cuanto al rendimiento en aceite es aproximadamente 56% según informe sin publicar de Industrias Amazónicas SAC.



Figura 1. Ejemplar de *Plukenetia volubilis* Linneo, ecotipo Pinto Recodo en etapa de fructificación y floración.

Fuente: VILLCA (2006).

- Ecotipo Alto Mayo: Las características morfológicas y fenológicas de este ecotipo son muy parecidas al ecotipo pinto recodo, diferenciándose en tres aspectos fundamentales. El número de lóculos es mayor, de 5-7, en las hojas la pequeña proyección intermedia denominada estipela es más grande, finalmente por poseer mayor número de lóculos el fruto, las semillas son de menor tamaño. El distanciamiento de entrenudos en el desarrollo vegetativo es ligeramente menor respecto al ecotipo Pinto Recodo (RISCO, 2008).



Figura 2. Fruto y floración de *Plukenetia volubilis* L., ecotipo Alto Mayo.
Fuente: RISCO (2008).

2.1.6. Manejo agronómico

2.1.6.1. Requerimientos edafoclimáticos

- Temperatura: Según MANCO (2006), la temperatura ideal para un desarrollo óptimo de esta especie es en promedio 26 °C, aunque crece y tiene buen comportamiento en rangos de 10-36 °C. Temperaturas muy altas y poca disponibilidad de agua en el suelo devienen en caídas de flores y frutos pequeños, aunque generalmente en verano es la época que se obtiene mayor número de capsulas (frutos), contrariamente la producción en invierno es más reducida. En relación a la humedad relativa, un nivel de 78% y temperatura media de 26 °C son los más ideales para el cultivo, y puede evitar problemas fitosanitarios. ARÉVALO (2008), reportó que en el Huallaga Central, las temperaturas máximas promedio están en 38.9 °C para Tarapoto y 36.6 °C en Pachiza, con temperatura media de 26.6 °C, en estas condiciones se observó buen comportamiento del cultivo de sachá inchi.

- Altitud: *Plukenetia volubilis* L., se puede cultivar desde los 50 msnm hasta los 2100 msnm (ANDRADE, 2009), otro investigador señala desde los 100 msnm hasta los 1600 msnm, observándose mejores rendimientos por debajo de los 800 msnm (MANCO, 2006).

- Luz: El sachá inchi es prácticamente una especie heliófita, y a bajas intensidades de luz, la planta necesita de mayor número de

días para completar su ciclo vegetativo; cuando la sombra es muy intensa la floración disminuye y por tanto la producción es menor (VILLCA, 2006).

- Agua: *Plukenetia volubilis* L., requiere disponibilidad permanente de agua para tener un crecimiento sostenido; siendo mejor si las lluvias se distribuyen uniformemente durante los doce meses, en promedios anuales de 850 mm a 1000 mm de precipitación. El exceso de agua en los cultivos ocasiona daño en las plantas e incrementa el ataque de enfermedades (CANAVIRI, 2009). La influencia de la lluvia es notoria en la polinización y fertilización. Sin embargo, una alta humedad relativa con fuertes precipitaciones pluviales condiciona un desarrollo vigoroso de la planta, aunque puede resultar propicio para la proliferación de enfermedades. A una humedad relativa del 78% y una temperatura media de 26 °C, se observaron cultivos prácticamente libres de enfermedades (ARÉVALO, 2008).

- Suelo: En relación a su distribución en los suelos de bosques amazónicos, la especie es una planta rustica de poca exigencia nutricional, por ello presenta amplia adaptación a diferentes tipos de suelo. La especie es tolerante a la acidez y altas concentraciones de aluminio (Al). Para un buen desarrollo explicado por MANCO (2006), el pH debe ser de 5.5-6.5. En cuanto a la textura del suelo, la especie se adapta mejor a suelos de textura media (franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arenosa), con buen drenaje que no acumulen humedad ni produzcan encharcamiento. En suelos compactados se considera que puede comprometer el desarrollo radicular, por lo que se debe considerar en este caso trabajos de subsolado con rastra. Para trabajos de manejo agronómico se recomienda que la topografía del suelo debe ser plana hasta con pendiente no mayor a 35% (RANGEL, 2009).

- Drenaje: El mal drenaje del suelo es un factor limitante, en este aspecto ARÉVALO (2008), indica que la especie necesita terrenos con buen drenaje, que eliminen el exceso de agua tanto a nivel superficial como profundo, dependiendo este último de la textura del suelo. En suelos arcillosos, que tiende a retener agua, se recomienda realizar zanjas profundas para facilitar el drenaje. Otra práctica recomendada es la conformación de aporques que se eleven del nivel de suelo suficientemente para facilitar el drenaje del agua.

2.1.6.2. Formas de propagación

Existen básicamente dos modos de propagación que se utiliza con propósitos comerciales en viveros. La sexual que utiliza semilla de frutos maduros, y la reproducción asexual se realiza utilizando estacas de diferentes partes de la planta y que generalmente para fines de investigación.

- Propagación sexual: La propagación por semilla es regularmente eficiente en sachá inchi. La germinación promedio de semillas hasta un año de almacenamiento alcanza 60.0-80.0%, periodos superiores de almacenamiento devienen en bajo poder germinativo de las semillas (MANCO, 2006). Para obtener semillas de calidad se recomienda que los frutos estén totalmente maduros, que no se encuentren en el suelo, que las plantas estén libre de enfermedades y que hayan demostrado rendimiento superior en cosechas seguidas, y que como mínimo lleven 6 meses en producción (RANGEL, 2009).

En etapa germinativa las semillas de sachá inchi eventualmente ofrece problemas por su variabilidad en el tiempo de germinación, en este tema, ensayos utilizando inmersión de semillas en agua por 2, 5, y 10 días no registró diferencias significativas $p < 0.01$ (AGUILAR *et al.*, 2009). Para homogenizar el tiempo de germinación algunos investigadores han probado tratamientos pre germinativos como la escarificación que consiste en la extracción de la testa de la semilla, con lo cual se obtuvieron mayor porcentaje de germinación, así como homogenización del tiempo de germinación de las semillas (ARÉVALO, 2008).

Cuadro 2. Germinación de *Plukenetia volubilis* L., con testa (CT) y sin testa (ST) probadas en semillas provenientes de Tarapoto y Ucayali.

Tratamiento/sustrato	SET		ETT	
	Tarapoto	Ucayali	Tarapoto	Ucayali
	% Germ.	% Germ.	% Germ.	% Germ.
Musgo fino	0.0	70.0	95.0	95.0
Arena fina	15.0	35.0	10.0	15.0
Tierra agrícola y humus	5.0	15.0	10.0	50.0
Arena, aserrín	0.0	0.0	75.0	80.0

Fuente: ARÉVALO (2008).

- Propagación asexual: BARTRA (2006) propagó asexualmente estacas de sachá inchi bajo efectos del ácido-3-indolbutírico en sustrato tipo arena obteniendo 77.86% de enraizamiento. En otra investigación RUIZ (2009) trabajando con estaquillas concluyó que al propagar sachá inchi asexualmente se obtiene de 80% de enraizamiento si se aplica dosis adecuada de ácido-3-indolbutírico a material vegetativo que provengan de partes intermedias y basales de la planta. En el mismo tema RANGEL (2009), aplicó el método asexual de propagación y determinó que es mejor utilizar esta metodología para mejoramiento genético en el establecimiento de bancos de germoplasma. En otros trabajos con cámaras de sub irrigación se logró propagar con éxito clones como *Caballococha*, *Shica*, *Chazuta* que empezaron a fructificar al cabo de 82 días después del trasplante (CACHIQUE y RUIZ, 2008).

2.1.6.3. Sistemas de cultivo

La preparación del terreno se convierte en la primera condición requerida de adaptabilidad del sachá inchi como cultivo, ya que se debe tener conocimiento de cómo realizar esta labor, de tal forma que el sachá inchi pueda liberar todo su potencial productivo (RANGEL, 2009). Por ser un cultivo de reciente desarrollo agronómico, existen pocos resultados sugieren que el suelo, y relación a sus propiedades físicas y químicas limitan el desarrollo de la planta. En mención a sistemas de cultivos, esta especie por ser enredadera debe ser instalada con tutores (pieza de sostén). El tutorado se debe realizar antes de la siembra o trasplante, las formas de tutorar pueden ser de dos tipos.

- Tutorados muertos: Este tipo de tutorado consiste en instalar postes de madera o plástico de diámetros de 4" x 4" y alturas de 2.80 m y en espaciamiento de 3 m x 3 m, 4 m x 3 m cuya forma de instalación puede ser en "T", o en "V" invertida o de forma normal con un solo poste por planta. El tutorado por postes es complementado con la utilización de alambres de acero galvanizado que se unen de poste a poste en hileras de 3-4 filas por los cuales se expandirá la planta conforme a su desarrollo vegetativo. Mediante este sistema de tutorado se puede obtener de 800-1600 plantas por hectárea. Según ANDRADE (2009), los postes de madera suelen presentar problemas de

poca duración, teniendo que ser remplazados en 2-3 años, en contraparte los postes de plástico pueden durar 10 años casi todo el ciclo productivo del cultivo, que inicia a partir del primer año en forma permanente.

- Tutorados vivos: Mediante este tipo de tutorado, el sachá inchi es instalado con otro tipo de planta de mayor porte que pueda servir de sostén. Diversas combinaciones se han probado, de acuerdo a su finalidad. Por ejemplo, MANCO (2006), señala que utilizando palo vivo (*Erythrina poeppigiana* L), se puede obtener follaje para crianza de animales menores como conejo y cuyes, con la ventaja que este tutor vivo no compite significativamente por nutrientes. Por su parte, RANGEL (2009), sostiene que se puede instalar tutores vivos cada 5 m x 5 m, pudiendo ser preferentemente *Erythrina poeppigiana*.

- Tutorado mixto: Este tipo de tutorado es la combinación de tutores vivos y muertos en el cultivo de sachá inchi. Utilizando este sistema se ha podido reducir en 30.0% el costo por tutores muertos (postes de madera o plástico), ya que en combinación suelo reducirse hasta en 40.0% el número de postes.

2.1.6.4. Plagas y enfermedades

En relación a plagas, según reportes de VECCO y CAVE (2008), en cultivos y en su ambiente natural sachá inchi es afectado por trip fitófago que ocasiona daños en hojas, tallos, inflorescencias y frutos bajo condiciones de bosque seco tropical, en el Bajo Mayo-Tarapoto. ARÉVALO (2008), sostiene que plantaciones en estados juveniles, puede afectarse por presencia de *Grillotalpa* spp., gusanos minadores de hojas y hormigas.

Entre las enfermedades más importantes que afectan al sachá inchi, destaca la nodulación del sistema radicular con la consecutiva muerte de plantas que causa alta mortalidad ocasionado por una especie de *Meloidogyne* spp. (BARDALES *et al.*, 2008; ARÉVALO, 2008), y nematodos del genero *Aphelenchus* spp encontrándose poblaciones de 217-14 individuos/100 g de suelo (ARÉVALO, 2008). Las plantas afectadas por nematodosis se

atrofian y presentan entrenudos cortos, presentan hojas pequeñas, se vuelven cloróticas que facilitan la penetración de hongos tipo *Fusarium* spp. y *Macrophomina* spp. Otra enfermedad que afecta al cultivo es la “escoba de bruja” hipertrofia causada por hongos del género *Crinipellis* spp.

Cuadro 3. Principales plagas y enfermedades que afectan a *Plukenetia volubilis* L., reportadas en la región San Martín.

Plagas	Nombre científico	Lugar de ubicación	Parte afectada	Fecha reportada
Nematodos	<i>Meloidogyne</i> sp.	Juan Guerra	Suelo	12-10-2004
	<i>Meloidogyne incognita</i>	Juan Guerra, Sauce y Moyobamba	Raíces y suelo	12-10-2004
	<i>Aphelenchus</i> sp.	Juan Guerra, Lamas y Sauce	Raíces	17-02-2005
	<i>Helicotylenchus</i> sp.	Juan Guerra, Sauce y Moyobamba	Raíces y suelo	28-12-2004
	<i>Tylenchus</i> sp.	Juan Guerra y Sauce	Suelo	17-02-2005
	<i>Trichodorus</i> sp.	Moyobamba	Raíz	28-12-2004
	<i>Xiphinema</i> sp.	Juan Guerra y Moyobamba	Suelo	12-10-2004
Hongos	<i>Stagonospora</i> sp.	Lamas	Rama	
	<i>Leptosphaeria</i> sp.	Lamas	Rama	
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Lamas	Cuello de planta	08-05-2005
	<i>Rhizotocnia</i> sp.	Lamas	Cuello de planta	
	<i>Cronartium</i> sp.	Chazuta	Tallo	04-05-2006

Fuente: ARÉVALO (2008).

2.1.6.5. Densidad de siembra, cosecha y rendimiento

Las densidades de siembra aplicadas al cultivo de sacha inchi van de 1600 pl.ha⁻¹ (2.5 x 2.5 m), a 825 pl.ha⁻¹ (4 x 3 m) y muy pocas veces 2600 pl.ha⁻¹ (MANCO, 2006). La densidad de la plantación determina la productividad, sumado a la fertilidad del suelo y la intensidad de manejo agronómico (ARÉVALO, 2008). La densidad de siembra en sacha inchi se ve muchas veces antepuestas al sistema de tutorado a emplear. De este modo, si el proyecto de plantación implica utilizar tutorado con postes de madera o plástico con espalderas de alambre se podría considerar altas densidades para optimizar la productividad y hacer rentable la inversión de utilizar espalderas y

los tutores. El efecto de la densidad de siembra sobre el sachá inchi es muy similar a la mayoría de especies agrícolas. Así, el maíz es quizás el más representativo en el estudio del impacto de la densidad de siembra en la productividad del cultivo. CIRILO (2009) indica que la densidad de plantas y la distancia entre surcos tienen importantes efectos sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de maíz. Otro informe obtuvo una respuesta positiva en el rendimiento al incrementar la densidad de plantación de tomate bola (GRIJALVA *et al.*, 2006). Por su parte GONZÁLEZ *et al.* (2011) trabajando con densidades de cacao encontraron influencia en los rendimientos, concluyendo que a partir del tercer año, la densidad 1100 pl.ha⁻¹ de cacao, independiente de la arquitectura, produce mayores rendimientos (3933 kg.ha⁻¹ en promedio). Refiriéndose al tema, ALCÁZAR (2010) sostiene que la densidad poblacional tiene influencia sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de plátano con rangos de 1500 pl.ha⁻¹ del cual se obtuvo 22.4 t.ha⁻¹ hasta densidades de 3000 pl.ha⁻¹ del cual se obtiene 40.5 t.ha⁻¹. En la misma especie SMITH *et al.* (2010) determinaron que aumentó, la altura del pseudotallo ($p=0.0001$) y la cantidad de días de siembra a la cosecha ($p=0.0263$) conforme al incremento de la densidad, sin embargo éste no afectó la circunferencia del pseudotallo ni el número de hojas a la floración y la cosecha. En el café también el comportamiento es linealmente ascendente respecto a la densidad y su respuesta en la producción, encontrándose que respuesta lineal al rendimiento de las plantas de café con un aumento del 16% por cada 0.5 m en la reducción de la distancia (PÉREZ y GUTIÉRREZ, 1978).

La etapa cosecha o etapa productiva del sachá inchi es precoz, según trabajos de DOSTER *et al.* (2009) se inicia a 8 meses en promedio. La especie mantiene producción permanente una vez que la planta ha alcanzado etapa productiva, pues la floración es constante, observándose una ligera caída entre febrero y marzo (AGUILAR *et al.*, 2009). Otros estudios han descrito que la cosecha se estabiliza a partir de los 14 meses, y puede iniciarse a los 207 a 240 días después de la siembra, aunque existe reportes de inicio de cosecha a partir de los 140-190 días (RISCO, 2008). La intensidad de manejo y el uso de ecotipos precoces de sachá inchi acortan los días de inicio de cosechas, siempre que se acompañe con factores edafoclimáticos

apropiados. Propiamente la cosecha consiste en la obtención de frutos secos, se prosigue con la solarización para facilitar la trilla que consiste en separar las semillas del fruto. Después del secado y la trilla, se obtiene 52.0% de semilla seca y 48.0% de cáscara, con una humedad estimada de 8.0 a 10.0%, que sirve para facilitar el descascarado de la almendra. El tiempo de cosecha está muy relacionada a la temperatura, por ende a la altitud del cultivo y luminosidad que permite precocidad en la cosecha (ARÉVALO, 2008; CACHIQUE, 2006).

Cuadro 4. Rendimiento en semillas de *Plukenetia volubilis* L., según sistema de tutoraje y densidad de siembra en Tarapoto.

Sistema de tutoraje	Distanciamiento	Producción (kg/ha/año)		
		Año 01	Año 02	Año 03
Tutores muertos con espalderas	3.0 x 3.0 m	500	1500	1800
	3.0 x 2.5 m	600	1700	2000
Tutores vivos con espalderas	3.0 x 3.0 m	400	1300	1600
	3.0 x 2.5 m	500	1400	1800
Tutores vivos	3.0 x 3.0 m	250	1000	1200
	3.0 x 2.5 m	300	1200	1300

Fuente: ARÉVALO (2008).

2.1.7. Utilidad de la semilla de sachá inchi

Existen pocos indicios que las culturas pre hispánicas hayan utilizado extensivamente la semilla del sachá inchi, pues su cultivo se limitaba a condiciones climáticas de la selva, Gracias a las prácticas alimenticias de etnias amazónicas como los boras, yaguas y yanesha han tenido bien para su reconocimiento y uso actual del sachá inchi. BETANCOURTH (2009), encontró que las semillas de *Plukenetia volubilis* L., contienen principalmente proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles). Esta cualidad constituye un alto potencial industrial de las semillas de esta especie, pues representaría ventajas respecto de semillas de otras oleaginosas como: maní, palma, soya, maíz, colza y girasol. Investigaciones recientes realizadas con aceites omegas y vitamina E indican la importancia nutricional y terapéutica de su consumo para el control de radicales libres y una serie de beneficios contra enfermedades que estos

controlan en el organismo humano (MANCO, 2006). En el Cuadro 8 se detalla el contenido de elementos de componen la semilla de sachá inchi.

Cuadro 5. Componentes nutritivos y ácidos grasos esenciales presentes en semillas de *Plukenetia volubilis* L.

Parámetro	Unidad de medida	Cantidad en base húmeda
Humedad	g/100 g	5.21
Materia seca	g/100 g	94.80
Ceniza	g/100 g	2.43
Extracto etéreo	g/100 g	37.90
Fibra cruda	g/100 g	29.00
Proteína	g/100 g	22.70
Extracto no nitrogenado	g/100 g	2.70
Energía	kcal/100 g	630.00
Lignina	g/100 g	2.58
Celulosa	g/100 g	8.15
Hemicelulosa	g/100 g	6.86
Calcio	g/100 g	0.35
Fosforo	g/100 g	0.44
Magnesio	g/100 g	0.25
Potasio	g/100 g	0.48
Azufre	g/100 g	0.16
Hierro	mg/kg	1082.00
manganeso	mg/kg	34.00
Zinc	mg/kg	51.50
Cobre	mg/kg	13.00
Aceite omega 3	g/5 ml	2.40
Aceite omega 6	g/5 ml	1.80
Aceite omega 9	g/5 ml	0.50

Fuente: Hazen y Stoewesand, 20001 citado por BETANCOURTH (2009).

Diversos trabajos a nivel local e internacional describen las virtudes del potencial nutricional y alimenticio tanto del aceite y harina de las semillas de esta especie. Según ARÉVALO (2008), el perfil de aminoácidos de sachá inchi, en algunos aspectos, fue mejor que el de las otras semillas aceiteras. Los niveles de leucina y lisina son más bajos que los de la proteína de la soya, aunque igual o mayor que los niveles de la proteína de maní,

semilla de algodón o del girasol. El contenido de aminoácidos azufrados (metionina + cistina), tirosina treonina y triptófano es mayor que en las otras oleaginosas. En relación al contenido lipídico, el aceite del sachá inchi en comparación con las otras oleaginosas, posee el menor contenido de grasas saturadas, así el aceite de inca inchi es la fuente natural más rica en ácido graso esencial alfa linolénico, omega 3 (GUTIÉRREZ *et al.*, 2006). El aceite de inca inchi es el más rico en ácidos grasos insaturados, llega hasta 93.6%; es el de mayor contenido de polinsaturados, en promedio está compuesto de 48.6% de ácido graso esencial alfa linolénico omega 3, 36.8% de ácido graso linoleico omega 6 y 8.28% de ácido oleico omega 9 (ARÉVALO, 2008). Por la alta cantidad de ácido linolénico, el aceite de sachá inchi pertenece al grupo de los ácidos linolénicos. Por otra parte, el ácido oleico es el ácido graso más ampliamente distribuido, se encuentra en todos los aceites o grasas. En los aceites vegetales poco insaturados, tales como soja, linaza, perilla hay más ácido linoleico que oleico. El ácido linolénico se encuentra en cantidades variables en algunos de los aceites vegetales más insaturados constituyendo muchas veces el 40% o más de ácidos grasos (BETANCOURTH, 2009).

Cuadro 6. Perfil de aminoácidos en harina de *Plukenetia volubilis* L.

Aminoácidos	En 100 g de harina (%)	En 100 g de proteína (%)
Triptófano	0.77	2.88
Treonina	1.16	4.34
Serina	1.70	6.37
Prolina	1.30	4.83
Alanina	0.95	3.56
Valina	1.07	4.01
Metionina	0.33	1.24
Isoleucina	1.33	4.98
Leucina	1.70	6.37
Tirosina	1.46	5.47
Fenilalanina	0.64	2.40
Histidina	0.70	2.62
Lisina	1.16	4.34
Arginina	1.48	5.54

Fuente: HAMAKER *et al.* (1992).

2.2. Ciclo del carbono

En la atmósfera se encuentra aproximadamente 750-800 Pg de C, casi la totalidad corresponde a CO₂, existiendo pequeñas trazas de CO, CH₄ y otros compuestos hidrocarbonados distintos del metano (SIEGENTHALER *et al.*, 2005). La cantidad total de C en los océanos es de aproximadamente 3.8x10⁴ Pg, esto es, unas 50 veces mayor que en la atmósfera (HOUGHTON, 2007). El océano puede actuar así mismo como sumidero de C, así en la superficie oceánica, el CO₂ atmosférico se disuelve en agua acidificándola. Por otro lado, en la atmósfera el CO₂ reacciona con el vapor de H₂O formando un ácido débil, el ácido carbónico que disuelve las rocas, liberando Ca, Mg, K y Na. Entre los reservorios de carbono existen dos tipos de flujos o movimientos de carácter global, el primero presenta una característica lenta, con un tiempo de residencia alto considerado como ciclo geoquímico, con tiempos de permanencia de miles de años (mineralización, formación de rocas, etc.). El segundo tipo de flujo es considerado el ciclo biológico, cuya residencia es baja con rangos de permanencia que van de unos pocos horas (cianobacterias, algas, hongos) a cientos de años (árboles). El C siempre ha mantenido entradas y salidas de un sistema a otro (KASTING y WALKER, 1992).

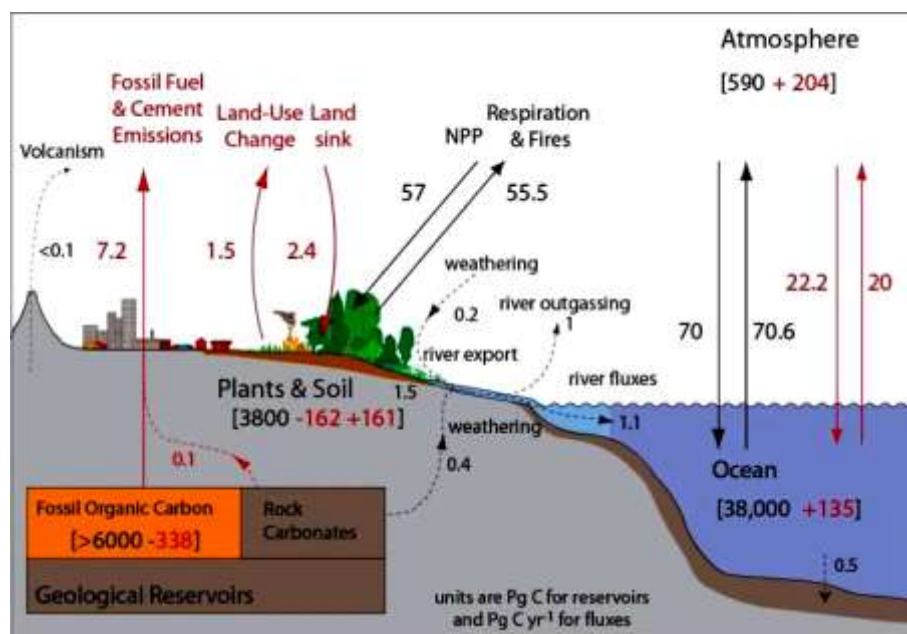
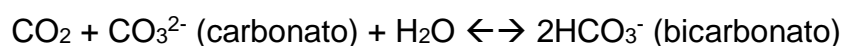


Figura 3. Flujos estimados de reservorios dentro del ciclo del carbono.

Fuente: KASTING y WALKER (1992).

2.2.1. Ciclo geoquímico del carbono

El carbono en su ciclo geoquímico presenta tres componentes principales: hidrosfera, litosfera y atmósfera. Se estima que más de 7.5×10^7 Pg de C se encuentran dentro de alguno de estos reservorios. De manera general, en la hidrosfera el CO_2 es consumido y liberado constantemente por el océano. Más o menos hay un equilibrio entre la cantidad consumida y la liberada. El proceso geoquímico más importante que almacena CO_2 en el océano se da cuando el CO_2 se combina con un ion de carbonato para formar bicarbonato (GAO, 2008):

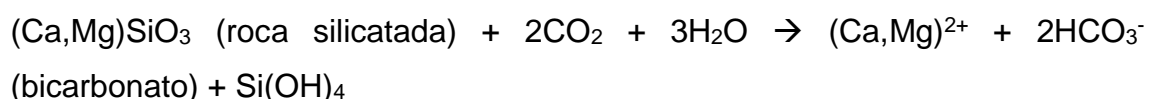


Esta reacción es más rápida con más CO_2 en la atmósfera. Entonces si hay más CO_2 en la atmósfera, el océano almacena más CO_2 , entonces el océano regula el CO_2 atmosférico, pero no lo suficientemente rápido para quitar todo el CO_2 que el hombre está añadiendo. Otro proceso por el que los océanos consumen carbono, aunque con participación biológica es mediante el plancton. El plancton fotosintetiza de manera que utiliza el CO_2 , cuando muere cae al fondo oceánico, se descompone, y el CO_2 se disuelve en aguas profundas no se mezclándose con gases de la atmósfera. Una pequeña parte de la materia orgánica queda enterrada en sedimentos de forma permanente. Este proceso es limitado por la cantidad de nutrientes que pueden estar presentes en el océano, así como la concentración de nitrógeno y el fósforo (KASTING y WALKER, 1992).

En cuanto a geoquímica de la litosfera, las formaciones rocosas constituyen importante almacén de carbono. El más representativo de estos procesos es el ciclo del carbonato-silicato, de modo que, por la tierra, cuando el CO_2 reacciona con el agua en el suelo formara el ácido carbónico:



El ácido carbónico es muy efectivo para meteorizar las rocas, dicho de otra manera, es efectivo para destruir químicamente la roca. Para este tema, solamente vamos a hablar sobre rocas que contienen silicatos de calcio o magnesio. Rocas silíceas son muy comunes en la corteza de la Tierra. El ácido carbónico meteoriza los silicatos a calcio, magnesio y dos iones de bicarbonato mostrados en la siguiente ecuación (KASTING y WALKER, 1992):



Los iones liberados de calcio, magnesio, y bicarbonato son llevados por los ríos al océano. En el océano, los organismos utilizan los iones para formar conchas de carbonato cálcico. Esta reacción predominantemente es realizada por organismos, pero, también puede ocurrir inorgánicamente:



Entonces, si comienza el proceso con dos moléculas de CO_2 de la atmósfera, más la erosión van a dar lugar a dos bicarbonatos que forman una concha carbonatada y libera solo una molécula de CO_2 a la atmósfera, entonces este proceso, de meteorización y sedimentación, quita una molécula de CO_2 de la atmósfera (KASTING y WALKER, 1992).

Cuadro 7. Reservas totales de carbono en ecosistemas terrestres.

Fuente de reservas	Formas probables	Reservas (Pg de C)
Atmosfera	Gases, CO_2 , CO	720
Biota terrestre	Flora y fauna terrestre	827
Biota marina	lctiofauna y flora marina	2
Océanos	Gases disueltos	38,000
Sedimentos orgánicos	Restos orgánicos-mineralización	15'000,000
Sedimentos carbonatados	Rocas	20'000,000
Total		35'039,549

Fuente: KASTING y WALKER (1992).

El ciclo geoquímico mantiene siempre una relación respecto al biológico, en general el balance global del carbono es el equilibrio de los intercambios (ingresos y pérdidas) de carbono entre las reservas de carbono, (por ejemplo atmósfera <-> biosfera). Un examen del balance de carbono de una reserva o depósito puede proporcionar información aproximada si este está funcionando como una fuente o sumidero de dióxido de carbono.

Cuadro 8. Flujo total de carbono en procesos biogeoquímicos.

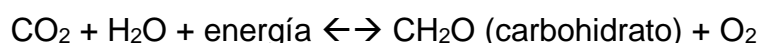
Proceso promotor de flujo	Formas probables	Flujo anual (Pg de C/año)
Ciclo de plantas	Fotosíntesis	-110.0
	Respiración	55.5
	Descomposición	~54.0
Procesos oceánicos	Que secuestran	-93.0
	Que liberan	90.0
Ciclo de rocas	Sedimentación	-0.2
	Vulcanismo	0.2
Antropogénesis	Actividad humana	~5.0

Fuente: KASTING y WALKER (1992).

Aunque las mayores reservas de carbono son almacenados en roca, es preciso señalar que el flujo anual de ciclo de rocas es muy pequeño en comparación a los flujos entre la biósfera y la atmósfera y entre el océano y la atmósfera. Entonces el ciclo de roca está muy importante en escala de tiempos geológicos, pero no en una escala de la vida humana. El entierro de orgánicos y los procesos oceánicos disminuye algo de CO₂ que añadimos los humanos a la atmósfera (HOUGHTON, 2007).

2.2.2. Ciclo biológico del carbono

DHILLON y WUEHLISCH (2007), afirman que dentro del ciclo biológico del C están representados casi todos los seres vivos y sus procesos biológicos, y en este reparto se estiman que se encuentran implicados unos 2.5×10^3 Pg de C. El primer componente del ciclo del carbono es la fotosíntesis y respiración de las plantas, proceso que resulta de la siguiente reacción:



Durante el día, las plantas usan la energía del sol para convertir el CO₂ de la atmósfera más agua en carbohidrato y oxígeno. Las plantas durante la noche, hacen lo opuesto, llamándose entonces respiración, es decir usan el carbohidrato más el oxígeno para producir energía cuando no hay sol. En todo esto se observa que se almacena materia y energía, de modo que si revertimos el proceso al quemar plantas, o productos con gran cantidad de material orgánico, o si las plantas mueren y se descomponen, la reacción va a la izquierda; es decir se usará oxígeno y liberará CO₂, por tanto, si se deposita materia orgánica en sedimentos, este almacena CO₂ de la atmósfera (KASTING y WALKER, 1992). La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos, promueven la agregación y la estabilidad de la estructura, aumentan con el contenido de materia orgánica (BLACK, 1975).

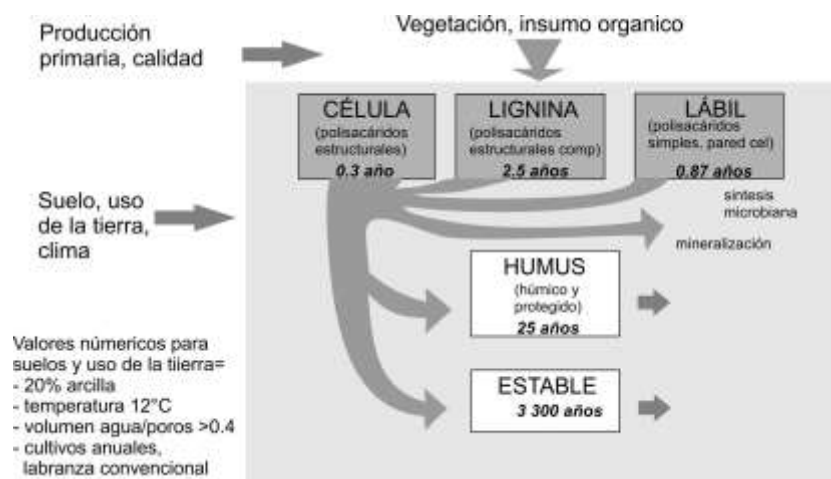


Figura 4. Dinámica del carbono en el suelo.

Fuente: BALESIDENT *et al.* (2000).

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (etapa de mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0.4 Pg/año). Como todo sistema, en el

proceso biológico para la captura del carbono confluyen otros elementos clave para la vida. En orden de importancia el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las plantas conforman la trilogía de elementos vitales. En atención al ciclo de carbono, el N y C están comprometidos en los procesos de mineralización de la materia orgánica, así la relación C:N en el suelo mide la rapidez con la que se descompone la materia orgánica y su riqueza en nitrógeno. Debido a esto se ha determinado que cuando la relación C:N es alta significa que hay mucha energía y poco nitrógeno; por tanto prácticamente todo el N liberado es tomado por los microorganismos del suelo, quedando muy poco libre para ser utilizado por las plantas. Cuando la relación es inversa una parte del N liberado es tomado por los microorganismos y el resto es incorporado al suelo y puede ser absorbido por las plantas (BLACK, 1975).

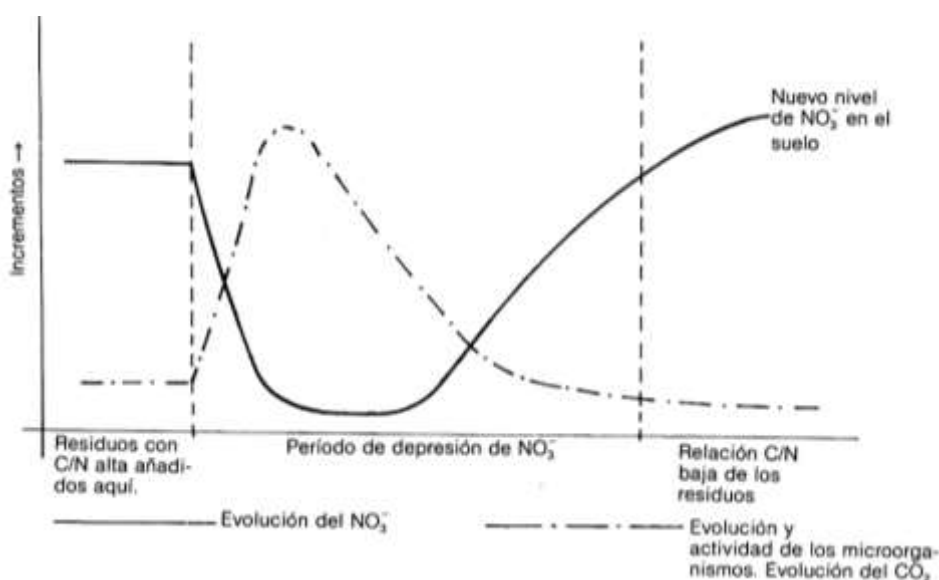


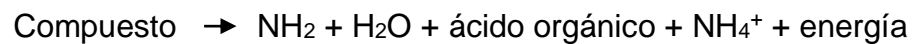
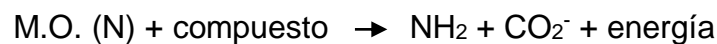
Figura 5. Efecto de la relación C:N sobre actividad microbiana y la disponibilidad de NO_3^- .

Fuente: BLACK (1975).

La fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico al suelo y estas a las plantas, gracias a algunos microorganismos, principalmente bacterias y cianobacterias que se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos. Esta fijación se da por medio de la conversión de nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos

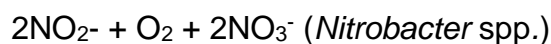
(NO₃⁻) ambas formas asimilables para las plantas. Las bacterias usan la enzima nitrogenasa para su descomposición, sin embargo, como la nitrogenasa sólo funciona en ausencia de oxígeno, las bacterias deben aislar la enzima de su contacto. Para lograr este cometido, algunas bacterias del tipo *Rhizobium sp.*, conforman nódulos en las raíces de las plantas, estableciendo un mutualismo en la cual la bacteria obtiene carbohidratos elaborados y en contraparte el N en forma asimilable es tomado por la planta (BIDWELL, 1979). La movilidad del nitrógeno viene producida por diversos procesos de entrada y salida de este elemento en el suelo, estos procesos aumentan o disminuyen el contenido de nitrógeno asimilable en el suelo, y pueden ser:

- Amonificación que consta de dos etapas:



Este proceso se bloquea cuando la temperatura es menor a 0 °C o superior a 45 °C. Las condiciones óptimas de humedad se encuentran entre el 80.0% al 90.0% y cuanto más alto es el pH mejor va el procedimiento. Buena aireación y tamaño pequeño de partícula favorecen el proceso (LANDIS, 1989).

- Nitrificación que consta también de dos etapas y es realizado por bacterias:



La nitrificación es un proceso aerobio con un potencial de hidrogeno (pH) límite entre 5.5-8.0 y un pH óptimo entre 7.0-7.5. Su temperatura óptima está entre 20-25 °C. Cabe mencionar que cuando la concentración de sustrato aumenta debido al uso de fertilizante se produce inhibición del proceso (DEVLIN, 1975). De otro lado el exceso de humedad bloquea la nitrificación, y a mayor tamaño en los agregados peor va el proceso.

A diferencia del P y K, la dinámica del N en el suelo no está regulada por un equilibrio químico, sino principalmente por procesos biológicos (mineralización, nitrificación, amonificación y desnitrificación), derivados de la actividad microbiana del suelo que afectan sobre todo a las formas minerales y a las formas orgánicas de reserva (LANDIS, 1989). En consideración a la pérdida del nitrógeno del suelo, en la zona selvática esta se da mayormente por dos factores importantes: El primero por volatilización, ya que las sales amoniacales reaccionan en medio alcalino desprendiéndose NH_4^+ en forma gaseosa a la atmósfera. El segundo caso es debido al lavado denominado también lixiviación originadas por la solubilización del nitrógeno en agua.

2.3. Secuestro de carbono en ecosistemas terrestres

Si clasificamos los ecosistemas con fines comparativos podemos establecer tres categorías generales que engloban todos los ecosistemas terrestres, y que a la luz de las investigaciones se podrían manejar para controlar las reservas de carbono que exceden en la atmosfera: El primer ecosistema global son los bosques naturales en sus diferente categorías que cubren el 29% de las tierras, le sigue las plantaciones forestales, que ocupan unos 0.86% de las tierras y los cultivos agrícolas incluyendo los pastos que cubren 11.55% de las tierras (BALESDENT *et al.*, 2000).

2.3.1. Carbono secuestrado en cultivos agrícolas

Dependiendo del tipo de fijación de CO_2 las plantas utilizadas en cultivos agrícolas tienen un metabolismo distinto y se clasifican en plantas C-3 y C-4. La eficiencia del uso del agua y como la tasa de fijación de CO_2 es diferente (BIDWELL, 1979). Las plantas C-3 se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO_2 , lo que provoca una pérdida de agua por transpiración de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis (Fith *et*

al., citado por BIDWELL, 1979). Por su parte, en las C-4 los estomas están abiertos en el día, pero al poseer intermediarios de bombeo de CO₂ en la célula pueden permitirse un cierre imprevisto de estoma, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético gracias al reservorio de CO₂ (DEVLIN, 1975).

En los cultivos agrícolas, el estrés ambiental como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas, el déficit hídrico y la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez *et al.*, 2003 citado por KANNINEN, 2001). En este ámbito, investigaciones han determinado que el estrés hídrico es la más limitante, ya que una parte del flujo de agua a través de una planta debe ser suficiente para mantener la nutrición y la incorporación de CO₂ (BIDWELL, 1979). Otro aspecto que destacar es relacionado a la temperatura, pues en términos de elevados valores puede inducirse un incremento de la foto respiración que es un mecanismo de protección del aparato fotosintético y que no conlleva fijación del CO₂ (Sofo *et al.*, 2000 citado por KANNINEN *et al.*, 2001). De acuerdo a lo descrito, se observa que existen varios factores a tener en consideración para la implantación de cultivos con fines de secuestro de CO₂. Por citar ejemplos los cultivos agrícolas más representativos de zonas templadas y manejadas en ingentes extensiones son maíz, cebada, trigo, avena cuyos valores de secuestro promedio de carbono de 3.5 tC/ha/año (VERHULST *et al.*, 2004).

Cuadro 9. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en plantas de maíz, cebada, trigo y avena.

Uso de suelo con cultivo	Total C t/ha/año	Total g C.Planta ⁻¹	Total g CO ₂ .Planta ⁻¹
Cultivo de avena	3.8	3.0	10.63
Cultivo de cebada	3.2	3.6	13.0
Cultivo de trigo	3.8	3.0	11.0
Cultivo de maíz	7.2	150.5	410.0

Fuente: Adaptado de VERHULST *et al.* (2004).

En regiones tropicales, el uso de suelo para la actividad agrícola compromete generalmente eliminar la cobertura boscosa, en consecuencia el CO₂ que se libera es de sobre manera superior a la que se suele capturar.

Ocurre entonces que las reservas de carbono en cultivos tropicales casi siempre están por debajo de las formas naturales de carbono almacenado en los bosques de cualquier tipo (Cuadros 13, 14, 19 y 20).

Cuadro 10. Reservas de carbono en cultivos agrícola de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Indonesia.

Uso de suelo con cultivo	Reserva promedio Mg C/ha	Referencia, comentarios
Cultivo de caña de azúcar	9.0	Soejono, 2000
Plantación de Té	28.0	Kamau <i>et al.</i> , 2008
Sistema agroforestal con café	51.0	Hairah, 2007
Cultivo de cacao	58.0	Lasco <i>et al.</i> , 2002
Plantación de coco	60.0	Adaptado de Rogi, 2002
Palma aceitera	45.0	Palmy <i>et al.</i> , 2004

Fuente: Adaptado de RUGNITZ *et al.* (2008).

En la amazonia peruana, Loreto y Ucayali ALEGRE *et al.* (2000) desarrollaron investigaciones pioneras para determinar reservas de carbono en la región amazónica peruana. Los resultados se obtuvieron mediante el empleo de parcelas de muestreo de 1 m² para cultivos de arroz y pastos, mientras que cultivos arbustivos se emplearon parcelas de 25 m².

Cuadro 11. Reservas de carbono en cultivos agrícolas de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Loreto.

Sistemas de uso de la tierra	Árbol	Soto- bosque	Hoja- rasca	Raíz	Suelo	Total
Cultivos	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha
Área recientemente quemada	46.0	0	0	48.70	50.36	133.7
Cultivo anual (arroz)	16.8	1.91	2.96	29.30	43.60	89.6
Pastos						
Natural 30 años (quema anual)	0	4.83	5.73	1.50	54.50	63.6
<i>Brachiaria decumbens</i> 15 años	0	1.76	2.36	0.96	72.60	77.7
Sistemas agroforestales						
<i>Bactris gasipaes</i> de 16 años	0.4	82.69	2.16	7.49	56.10	148.8
multiestrato <i>Bactris/Cedrelinga Inga/Columbrina</i>	57.3	1.25	6.09	2.63	47.03	114.3

Fuente: Adaptado de ALEGRE *et al.* (2000).

En el Cuadro 15, se detalla las reservas de carbono procedentes de los principales cultivos representativos de la región Ucayali.

Cuadro 12. Reservas de carbono en cultivos agrícolas de mayor extensión emplazadas en el trópico húmedo-Ucayali.

Sistemas de uso de la tierra	Árbol	Soto-bosque	Hoja-rasca	Raíz	Suelo	Total
Cultivos	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha
Área recientemente quemada	68.33	0	0	3.27	29.71	101.30
Cultivo anual (maíz)	4.5	1.24	2.12	0.81	22.36	31.00
Cultivo anual (yuca)	0.7	1.75	0.98	0.50	34.16	38.10
Cultivo bianual (plátano)	6.2	8.08	1.99	0.84	39.16	56.20
Cultivo permanente (limonero)	75.6	6.10	2.30	1.48	20.60	106.08
Cultivo permanente (naranja)	130.5	7.22	3.41	3.70	22.40	167.23
Pastos						
Pastura degradada	0	2.42	0.68	0.68	35.74	39.50

Fuente: Adaptado de ALEGRE *et al.* (2000).

Las reservas de carbono en pasturas son otra fuente importante de movilización de CO₂. Datos reportados de pasturas tropicales en Latinoamérica muestran cómo el establecimiento de pasturas mejoradas logra aumentar los niveles de carbono bajo el suelo. En Brasil, el establecimiento de pasturas mejoradas en áreas deforestadas provocó incrementos en la acumulación de carbono orgánico (De Camargo *et al.*, 1999 citado por BOTERO, 2001). El potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 t/ha, estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que varía entre 1.8 y 5.2 t/ha (BOTERO, 2001).

Cuadro 13. Reservas de carbono en *Brachiaria decumbens* y bosque secundario en varias profundidades de suelo en el trópico húmedo.

Profundidad del suelo (m)	Eutric Hapludand - Reservas de C Mg/ha			Oxic Humitropept - Reservas de C Mg/ha		
	Bosque	Pastura corregida	Pastura sin corregir	Bosque	Pastura corregida	Pastura sin corregir
0.00 - 0.05	21.50	11.50	16.20	16.50	15.70	18.80
0.10 - 0.15	15.00	13.30	14.20	7.90	6.90	8.10
0.20 - 0.25	13.90	10.60	11.50	6.60	5.90	6.40
0.30 - 0.40	12.70	17.90	18.30	9.90	10.60	10.20
0.40 - 0.50	14.50	14.30	13.30	10.20	11.10	10.20

Fuente: BOTERO (2008).

2.3.2. Carbono secuestrado en plantaciones forestales

Otro sistema de captura de carbono muy importante son las plantaciones forestales. Existe mucha discusión sobre el papel que desarrolla las plantaciones forestales como sumideros de CO₂ en zonas del trópico, esto debido a que la regla es eliminar los bosques naturales para ser remplazadas por una sola especie para obtener como producto principal celulosa y otras veces para madera aserrada con variados usos constructivos. En cuanto a especies de mayor uso en la zona selvática, ALEGRE *et al.* (2000) indicaron que la especie forestal *Guazuma crinita* Mart a 3 años de edad almacena 27.77 t.ha⁻¹ de carbono aéreo (CA) y 33.63 t.ha⁻¹ de carbono en el suelo (CS), a los 4 años 33.13 t.ha⁻¹ de CA y 30.99 t.ha⁻¹ de CS respectivamente, y a los 5 años tiene 38.00 t.ha⁻¹ de CA y 33.15 t.ha⁻¹ de CS (LINO, 2009).

Cuadro 14. Reservas de carbono en plantaciones forestales para diferentes usos prominentes en el trópico.

Sistema de especies forestales	Zonas de vida	Arboles (n/ha)	Edad (años)	Almac. de C (t/ha)	Flujo de C (t/ha/año)
Sombra para café y cacao					
<i>Cliricidia sepium</i>	bh-PM	330	30.0	51.6	1.7
<i>Cordia allidora</i>	bh-PM	278	10.0	24.9	2.5
<i>Mimosa scarabella</i>	bh-PM	650	2.0	14.2	7.1
Plantaciones para leña					
<i>Leucaena leucocephala</i>	bs-T	3800	5.0	28.9	5.8
<i>Eucalyptus saligna</i>	bh-PM	1378	2.5	27.0	10.8
Árboles en potreros					
<i>Alnus acuminata</i>	bh-PM	35	30.0	25.0	0.8
Plantaciones celulosa					
<i>Papulus nigra</i>	bh-PM	1333	8.0	120.5	-
<i>Pinus caribaea</i>	bh-PM	825	9.0	108.9	-
<i>Eucalyptus grandis</i>	bh-PM	1625	12.0	147.3	-

Fuente: Adaptado de KANNINEN (2001).

El carbono almacenado en plantaciones forestales comparado a otros materiales es su facilidad de reciclado, con tecnologías simples, dado que se llega incluso a su reutilización como material mismo. Otro ejemplo producto de las plantaciones es el reciclado del papel el cual cada vez llega a porcentajes más altos y con mayores cantidades de ciclos de reciclado. Un

aspecto más a considerar es que el carbono retenido en la madera o productos forestales, pueden quedar capturados períodos prolongados, como es el caso de la madera de viviendas, la que se transforma en uno de los sumideros de carbono de mayor duración en el tiempo (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

Cuadro 15. Estimación de biomasa en peso seco y carbono fijado en parte aérea de plantaciones forestales en provincias del Ecuador.

Sitios dentro de Ecuador	Especie forestal		Edad (años)	Biomasa total (t/ha)	C (t/ha)
	Nombre común	Nombre científico			
Mayronga	Teca	<i>Tectona grandis</i>	9.0	184.0	92.0
Silanche	Tangare	<i>Carapa guianensis</i>	21.0	213.0	107.0
Rio Castillo	Cutanga	<i>Parkia multijuga</i>	15.0	194.0	97.0
Golondrinas	Multiples	<i>Cordia alliodora</i>	17.0	229.0	115.0
Concordia	Caucho injerto	<i>Hebea brasiliensis</i>	7.0	108.0	54.0
Pitzan	Mascarey	<i>Hyeromina chocoensis</i>	10.0	155.0	78.0

Fuente: Adaptado de LÓPEZ *et al.* (2002).

2.3.3. Carbono secuestrado en ecosistemas naturales

Un balance completo de los bosques de Francia comprendió 540 parcelas de la red europea de supervisión forestal. La media total del carbono del ecosistema fue de 137 tC.ha⁻¹; de este total, el suelo solo representó el 51% (71 tC), los restos vegetales superficiales 6% y las raíces 6%. (BALESDENT *et al.*, 2000). En otros datos del bosque tropical de Manaos (Brasil) el carbono en el sistema resulta ser 447 tC.ha⁻¹ en promedio, y el depósito de suelo orgánico 162 tC.ha⁻¹ (36% del total). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos que contienen cerca del 40% del total del carbono son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques naturales (KANNINEN, 2001). En otro trabajo para bosque de pino encino en Tamaulipas en México, se estimó un total de 110 tC.ha⁻¹ almacenada de la forma siguiente: en fustes, ramas y hojas se encuentra el 75.3%, en raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los renuevos y la necromasa se encuentra e 0.4 y 0.3% respectivamente (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008).

En zonas tropicales las reservas de carbono son mayores según reportes de la mayoría de investigaciones realizadas por inventarios forestales y estudios específicos de medición de reservas de carbono.

Cuadro 16. Reservas de carbono en ecosistemas naturales intervenidas y sin intervenidas en el trópico húmedo.

Uso de suelo con cultivo	Reserva promedio Mg C/ha	Referencia, comentarios
Bosque primario (Indonesia)	250-300	Palmy <i>et al.</i> , 1999
Bosque talado en forma selectiva	192	Brearily <i>et al.</i> , 2004
Rotación de arbusto/cultivo	120	Prasetyo <i>et al.</i> , 2000
Manchal de caucho de 25 años	110	Promedio basado en Palmy <i>et al.</i> , 2004

Fuente: Adaptado de RUGNITZ *et al.* (2008).

La resiliencia de los bosques merece importante atención en zonas tropicales. Las condiciones de bosques intervenidos o secundarios en regiones tropicales pueden mantener reserva de carbono superior a bosques sin ningún tipo de afectación ubicadas en zonas templadas.

Cuadro 17. Reservas de carbono en ecosistema boscoso en la amazonia peruana, bosque intervenido y sin intervenir-Yurimaguas.

Sistemas de uso de la tierra	Árbol C t/ha	Sotobsq. C t/ha	Hojarasca C t/ha	Raíz C t/ha	Suelo C t/ha	Total C t/ha
Foresta						
Bosque ligeramente 40 años desmontado	290.0	3.63	3.93	23.95	38.76	360.3
Barbechos						
Bosque secundario 15 años	184.4	0.82	4.03	3.32	46.54	239.1
Bosque secundario 5 años	42.1	1.89	2.96	1.66	47.27	95.8
Bosque secundario 3 años	2.4	1.25	3.44	3.66	43.80	54.6

Fuente: ALEGRE *et al.* (2000).

Si enfocamos las formaciones boscosas con su relieve, es fácil evidenciar que los bosques de zonas bajas mantienen áreas más densamente poblados, y con individuos más frondosos. Según ascendemos las formaciones boscosas van disminuyendo su frondosidad y por tanto su totalidad de carbono almacenado. Las formaciones vegetales en terrazas bajas contienen mayor cantidad de carbono almacenado con 241.1 tC.ha⁻¹ (ALEGRE *et al.*, 2000).

Cuadro 18. Reservas de carbono en ecosistema boscoso en la amazonia peruana, bosque intervenido y sin intervenir-Pucallpa.

Sistemas de uso de la tierra	Árbol	Sotobsq.	Hojarasca	Raíz	Suelo	Total
Foresta	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha	C t/ha
Bosque primario terraza baja	160.1	0.83	0.73	2.61	76.81	241.1
Bosque primario desmontad	120.3	0.69	1.83	3.48	47.03	173.3
Barbechos						
Bosque secundario 15 años	121.0	2.21	2.85	1.04	68.33	172.3
Bosque secundario 3 años	13.2	1.83	5.90	0.28	19.63	40.8

Fuente: Adaptado de ALEGRE *et al.* (2000).

2.4. Medición de reservas de carbono

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de su organismo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ha tratado de definir protocolos de actuación para medir las reservas de C en las diferentes condiciones que se encuentra dentro de la biosfera terrestre. En este enfoque interdisciplinario, las metodologías adoptadas tratan de sistematizar modelos matemáticos con el uso de ecuaciones alométricas para hacer de la medición, tanto a nivel de reservas y flujo de carbono en marco al Protocolo de Kyoto que entró en vigor desde 2005 el cual busca la reducción de la emisión de los GEI. El protocolo determinó que países desarrollados¹ deben reducir por lo menos 5.2% de sus emisiones de GEI en relación a los niveles de 1990, en el periodo entre 2008 y 2012 (primer periodo de compromisos). Cada país signatario del compromiso define sus metas individuales de reducción. Países como Brasil, Colombia, Bolivia, Perú y otros no están obligados a realizar reducción de emisiones por considerárseles en vías de desarrollo (KANNINEN, 2001).

2.4.1. Medición de carbono del suelo

3.4.1.1. Materia orgánica y carbono del suelo

La medición de las reservas de carbono en el suelo está directamente relacionado al carbono orgánico. La materia orgánica es el principal sustrato de carbono para los microorganismos del suelo, quienes participan activamente en su mineralización. En este proceso, algo del carbono orgánico es usado para el crecimiento y mantenimiento, mientras que el resto

se respira como CO₂ y regresa a la atmósfera (BALESDENT *et al.*, 2000). VERHULST *et al.* (2004) determinaron que carbono del suelo está presente en forma orgánica e inorgánica, la primera es la mayor reserva en interacción con la atmósfera, y la segunda representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición-mineralización. RUGNITZ *et al.* (2009), manifiestan que la concentración de carbono en el suelo permite cuantificar la materia orgánica (MO), el carbono orgánico total (COT), y el C fácilmente oxidable (CFO). Las metodologías para medir el carbono en el suelo son: WALKLEY and BLACK (1934) conocido como combustión húmeda. Otro método es de Dumas o combustión seca GREWAL *et al.* (1991) y el método de calcinación o pérdida por ignición SCHULTE and HOPKINS (1996).

BERHONGARAY (2007) indica que la cantidad de carbono en el suelo tiene una movilización muy dinámica en etapas iniciales del cambio de uso de suelo. Cuando la vegetación natural se pone bajo cultivo, el contenido de materia orgánica decrece. Esa disminución es rápida durante los primeros años y luego se hace más lenta tendiendo a un equilibrio (Houghton *et al.*, 1983 citado por BERHONGARAY, 2007). En cuanto a los factores que intervienen en la dinámica se consideran dos. Una parte biológica representado por la macro y micro fauna y el tipo de vegetación o cobertura. La otra parte está constituido por las condiciones climáticas, siendo el nivel de precipitación el factor de mayor importancia en su movilización (ARAUJO, 2006). Evaluaciones realizadas por BERTILLER *et al.* (2006) pusieron en evidencia también que el COT se incrementa con las precipitaciones en ecosistemas patagónicos. La temperatura podría considerarse otro factor relevante en la movilización de carbono en el suelo, sin embargo, algunos estudios muestran que la cobertura de la vegetación suele controlarla, regulando las temperatura media y/o la amplitud térmica de los suelos (ARAUJO, 2006).

La distribución de la materia orgánica en sentido vertical tiene parámetro semejante en la mayoría de suelos, independiente al uso a que está sometido. A mayor profundidad menos carbono, estando en los primeros centímetros la mayor concentración (Dube *et al.*, citado por ARAUJO, 2006).

2.4.1.2. Método de combustión húmeda

Este método propuesto por WALKLEY and BLACK (1934) consiste en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en medio ácido. El calor desprendido, durante la incorporación del ácido sulfúrico, es el que permite la oxidación parcial del C. En este proceso se produce una reducción del dicromato, equivalente al contenido de C que es oxidado. El dicromato residual es luego titulado con sal ferrosa. Este método solo estima el CFO, por lo que se utiliza un factor de corrección que varía del 63 al 86%, dependiendo del tipo de suelo y horizonte, para estimar el COT. El factor de corrección generalmente utilizado es 1.32 debido a que se asume que en promedio se oxida el 76% del COT (BALESDENT *et al.*, 2000).

2.4.1.3. Método de combustión seca

El método de Dumas o de combustión seca permite determinar el COT de forma más precisa. Una desventaja de esta metodología es que en suelos con presencia de carbonatos, sobrestima el contenido de COT. Para convertir el COT a MO, se utiliza el factor propuesto por Van Bemmelen, el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por C. Sin embargo, como este contenido deriva de la composición elemental promedio de los ácidos húmicos no contempla la composición de todas las sustancias orgánicas del suelo. Muchos autores cuestionan la aplicación indiscriminada de este factor, demostrando que tiene alta variabilidad entre tipos de suelos y aún dentro de un mismo perfil. Se pueden encontrar concentraciones de C del 58% en la MO humificada y hasta del 40-42% en la MO joven o de residuos vegetales. Dado que la proporción de MO lábil o particulado el MO humificada cambia con la textura del suelo es probable que este factor cambie en suelos de la misma característica (BALESDENT *et al.*, 2000).

2.4.2. Medición de carbono en biomasa aérea

De manera general el método destructivo y no destructivo nos permiten medir la biomasa aérea de cualquier formación vegetal, y a partir de este el contenido de carbono.

- El método destructivo o directo.- Permite determinar el C almacenado en relación entre la materia seca y la proporción de agua en la muestra vegetal. Diferentes trabajos determinaron que la proporción de carbono de una muestra vegetal representa aproximadamente el 50.0% del peso de materia seca de la muestra. En este sentido, medir el contenido de humedad debe ser realizado de modo tal que se eviten sobre estimaciones o sub estimaciones de carbono. Por esta razón es importante diferenciar los conceptos de contenido de humedad de la muestra, así el contenido de humedad en base seca compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca. Por ejemplo un valor = 200 % significa que la masa de agua presente en el material es 2 veces su masa seca. La medición de contenido de humedad (CH) se realiza mediante la siguiente ecuación (SCHLEGEL *et al.*, 2001).

$$CH = \frac{PMF - PMS}{PMS} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde, CH es el contenido de humedad en (%), PM es el peso de materia fresca en (g), y PMS es el peso de materia seca en (g).

Con resultados de CH la biomasa seca se obtiene aplicando la ecuación (2) referida por SCHLEGEL *et al.* (2001). Los resultados deben ser extendidos a la unidad de superficie que se requiera utilizando factores de conversión según necesidad.

$$Bs = \frac{PhBt}{1 + (CH/100)} \dots\dots\dots (2)$$

Donde, Bs es biomasa seca (g), PhBt es el peso húmedo total de la biomasa en (g), y CH es el contenido de humedad en (%).

- Métodos no destructivos o indirectos.- Este método utiliza mediciones para calcular el volumen (utilizando medidas de diámetro y altura)

generalmente aplicado a componente arbóreo de una formación boscosa. La finalidad de estos procesos es obtener ecuaciones matemáticas llamadas alométricas que se utilizaran para estimar la cantidad de biomasa.

2.5. Mercado de carbono

LOHMANN (2012) sostiene que durante la última década, el comercio de emisiones se ha revelado como la pieza clave de las iniciativas mundiales para luchar contra el cambio climático. Actualmente en el ámbito mundial se han establecido mercados de carbono que son de dos tipos. El primero regulado por el Protocolo Kyoto y el segundo un mercado voluntario. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por compromiso suscrito tienen que rendir cuentas de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de carbono se produce sobre una base facultativa que puede pactarse entre privados (MAZUR y ALVA, 2009).

2.5.1. Convenciones y el protocolo de Kyoto

La Conferencia Mundial Sobre el Clima de Ginebra en 1979, consideró por primera vez que el cambio climático era una amenaza real para el planeta. Consecuentemente, en 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, (Cumbre de Rio de Janeiro), estableció bases para el Protocolo de Kyoto en 1997, donde los países industrializados adquirieron compromisos concretos para reducción de la emisión de los GEI (RUBIN *et al.*, 2005).

LEÓN (2007) manifiesta que el Perú ha tomado compromiso con el cumplimiento del protocolo de Kyoto mediante el Decreto Supremo N°086-2003-PCM, en la cual se crea la Estrategia Nacional sobre el Cambio Climático estableciendo políticas y planes de desarrollo que buscan reducir nuestra vulnerabilidad ante el referido fenómeno. El primer periodo del Protocolo de Kyoto dará inicio el año 2008 y tendrá una duración de 5 años luego del cual se retroalimentaran las experiencias para dar inicio a la segundo periodo con una duración quinquenal según acuerdos (MANZUR y ALVA, 2009).

2.5.2. Acceso al mercado de carbono

En mención al acceso al mercado regulado por Kyoto existen tres mecanismos: El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), la Ejecución Conjunta (JI), y el régimen para el Comercio de Derechos de Emisión de GEI de la Unión Europea (ETS). Algunos países no han aceptado legalmente el Protocolo de Kyoto, pero tienen otros esquemas de reducción de GEI vinculantes legalmente, a nivel estatal regional (EGUREN, 2004). Los países en desarrollo sólo pueden participar en el MDL. En general, para proyectos productivos en agricultura, silvicultura y otros usos del suelo a pequeña escala en países en desarrollo, el mercado voluntario es más interesante que el regulado (LEÓN (2007). La razón es que el mercado de MDL tiene unos mecanismos y procedimientos bastante complejos para el registro de proyectos, que excluyen a la mayoría de proyectos agrícolas, forestales y de Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación (REDD).

2.5.3. Tamaño del mercado de carbono

Las dimensiones de los dos mercados difieren notablemente entre el mercado pro Kyoto y el voluntario. En 2008, se comerciaron en el mercado regulado un monto aproximado de 119 mil millones US\$, y en el caso del mercado voluntario solo se comerciaron 704 millones US\$ (Hamilton *et al.*, 2009 citado por MAZUR y ALVA, 2009). Según la información disponible, hasta el momento 55.3 millones de tCO₂ están siendo negociados en la región latinoamericana bajo el MDL, un monto similar podría estar negociándose en el resto del mundo como MDL e JI. Por tanto, entre estos dos mecanismos ya se estarían negociando alrededor de 110 millones tCO₂ (EGUREN, 2004).

Actualmente, en el Perú ya hay alrededor de 71 proyectos con potencial de ser registrados como proyectos MDL (60 en el sector energía y 11 forestales). Dentro de estas cifras, de los 729 proyectos registrados a nivel mundial como MDL por la Junta Ejecutiva MDL, 6 son peruanos, 2 se encuentran cobrando ya los CER's y hay 20 proyectos en proceso de cierre. En ese sentido, el Perú está considerado entre los 10 países más atractivos para

la compra de CER's, con Chile y Brasil liderando en Sudamérica¹ Estimaciones preliminares sobre los 6 proyectos peruanos (4 hidroeléctricos, uno de relleno sanitario y otro de cambio de combustible) ya registrados, señalan que dichos proyectos podrán obtener aproximadamente USD 10 millones (LEÓN, 2007).

El precio del carbono secuestrado como todo elemento de mercado también está sujeta a la demanda y oferta, de este modo la evolución del valor promedio de tC en junio a 2008 alcanzó 28.95 US\$, luego descendió a 16.61 US\$ en diciembre del mismo año, colocándose a 14.96 US\$ en octubre del año 2009 (LOHMANN, 2012).

3.1.2. Topografía y características del suelo

Por estar conformado por terraza baja aluvial el lugar presentó un relieve plano uniforme, con 0-2% de pendiente predominante. Para conocer propiedades físicas y químicas iniciales del suelo en el área experimental se practicó análisis de partida en el suelo (Cuadro 1). La condición inicial del suelo del área experimental sirvió para conocer la concentración de CO_3Ca y materia orgánica el cual fue muy limitada.

Cuadro 19. Descripción de partida de propiedades físico-químicos de suelo del área experimental fundo Hidalgo.

Muestra M ₁	Análisis mecánico				Reacción del suelo				
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	M.O (%)	pH (1:1)	C.E. dS/m		
	17.00	58.00	25.00	Fo.Lo	3.10	5.80	.-.		
Muestra M ₁	Macro Nutrientes				Micro nutrientes				
	N (%)	P (ppm)	K ₂ O (ppm)	B (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	
	0.14	8.20	338	.-.	1.2	0.4	.-.	.-.	
Muestra M ₁	Cationes cambiables Capacidad de intercambio Catiónico (CIC)								
	CIC	Ca ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	Sum. Cats.	Sum. Bs	% Base camb.
	4.42	2.8	1.2	0.4	0.02	.-.	4.42	1.0	100

Fuente: Elaboración propia, LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO-UNAS (2008).

3.1.3. Descripción ecológica del sitio

El fundo agrícola Hidalgo se localiza en el llano amazónico, con lo que según el mapa ecológico del Perú (HOLDRIDGE, 1981), el área pertenece a la zona bosque muy húmedo pre montano tropical (bmh-PT). En forma local en la zona se observó pastos de corte *Saccarum sinense*, árboles frutales, especies endémicas que forman manchales típicos como *Cecropia distachya*, *Gynerium sagittatum* y arbustos de menor porte característicos de zonas ribereñas.

3.1.4. Condiciones climáticas

Con temperatura media anual en el sitio es 25.0 °C, máximas de 34.0 °C, mínimos de 14.0 °C con humedad relativa de 76.7% y precipitación promedio de 2500 mm al año según estación meteorológica SENAMHI-TM.

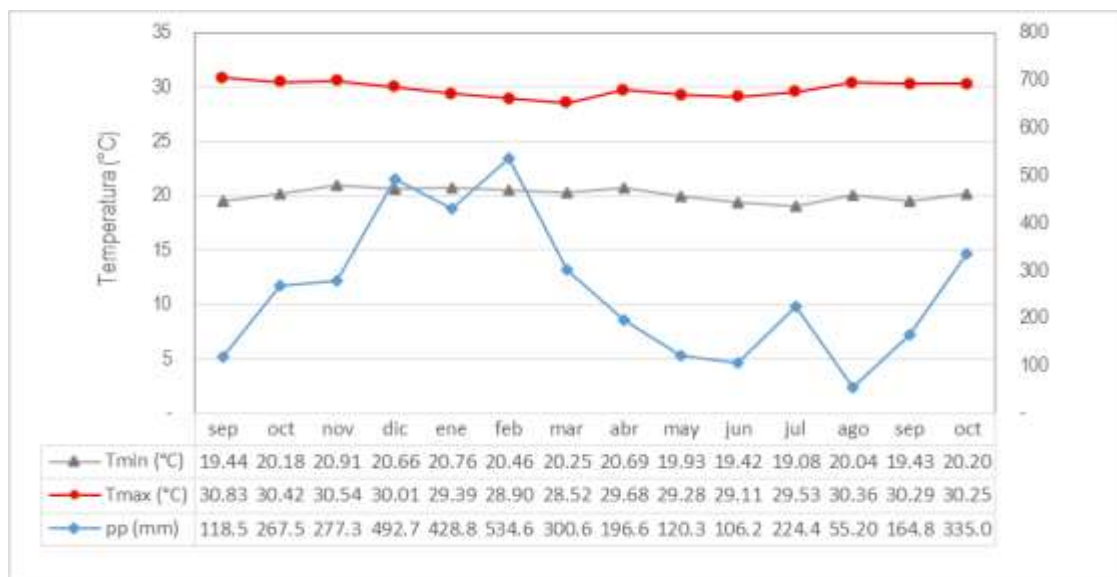


Figura 7. Curva de precipitación (mm) y temperatura (°C) durante los meses de evaluación septiembre 2007 – octubre 2008.

Fuente: SENAMHI-TM (2017)

3.1.5. Antecedentes de uso de suelo

El uso del suelo en el fundo Hidalgo fue principalmente pastura de corte tipo *Saccarum sinense* de 15 años. Eventualmente se realiza aplicación de herbicidas para control de maleza. Últimamente se aplicó abonamiento orgánico con humus. Hay presencia de árboles frutales con más de 15 años.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- Material genético, semillas de *Plukenetia volubilis* L.
Ecotipo Pinto Recodo semillas certificadas 5 Kg.
Ecotipo Alto Mayo semillas certificadas 5 Kg.
- Material vegetativo, postes de *Erythrina poeppigiana* (tutor vivo)
- Material logístico, machetes, cordel, wincha, rafia, placas, barreno, poseadora, palana, bolsas plásticas, plumón, pintura, alambre galvanizado N° 18, alambre negro, y libreta de notas.

3.2.2. Equipos

Balanza analítica, cámara fotográfica, GPS, estufa y kits de laboratorio para preparación de muestras.

3.3. Metodología

3.3.1. Componentes en estudio

Para determinar el secuestro de carbono de la especie *Plukenetia volubilis* L., se ha probado como primer dos ecotipos altamente productivos (factor A), y como segundo factor la densidad de siembra (factor D).

Factor A = ecotipo

a_1 = Pinto Recodo.

a_2 = Alto Mayo.

Factor D = densidad de siembra

d_1 = 1667 pl.ha⁻¹ (3.0 m x 2.0 m).

d_2 = 1333 pl.ha⁻¹ (3.0 m x 2.5 m).

d_3 = 1111 pl.ha⁻¹ (3.0 m x 3.0 m).

d_4 = 952 pl.ha⁻¹ (3.0 m x 3.5 m).

3.3.2. Diseño experimental

En la investigación se trabajó con el diseño experimental de Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con un arreglo en factorial 2A x 4D de los niveles de los componentes ecotipo y densidad de siembra, repartidos en 3 réplicas (bloques). La contrastación de medias de los tratamientos se sometió a prueba de Duncan a un nivel de significancia de 0.05. Los grados de libertad para cada fuente de variación del diseño experimental se calcularon según lo señalado en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Fuentes de variación para análisis de varianza con arreglo factorial de ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., y densidad de siembra.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	2
Tratamientos	7
A (Ecotipos)	1
D (Densidad)	3
A x D	3
Error experimental	14
Total	23

El modelo aditivo lineal del diseño estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha + \beta)_{ij} + \delta_k + \xi_{ijk}$$

Para $i = 1$ y 2 tipos de ecotipo (factor A).

Para $j = 1, 2, 3$ y 4 niveles de densidad (factor D).

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta.

μ = Media general.

α_i = Es el efecto del i -ésimo ecotipo.

β_j = Es el efecto del j -ésimo nivel de densidad

$(\alpha + \beta)_{ij}$ = Es el efecto interactivo entre en i -ésimo tipo de ecotipo y el j -ésimo nivel de densidad.

δ_k = Es el efecto del k -ésimo bloque.

ξ_{ijk} = Es el efecto del error aleatorio.

3.3.3. Tratamientos en estudio

Con el arreglo factorial del experimento, los niveles de factor ecotipo (A) y densidad de siembra (D) fueron codificados para su identificación en el campo experimental. Las combinaciones o tratamientos evaluados fueron obtenidos de la siguiente manera.

Cuadro 21. Tratamientos en estudio para la combinación del tipo de ecotipo y niveles de densidad de siembra de *Plukenetia volubilis* L.

Clave	Combinación	Descripción de los tratamientos
T ₁	a ₁ d ₁	Ecotipo a ₁ pinto recodo con d ₁ densidad de 1667 pl.ha ⁻¹
T ₂	a ₁ d ₂	Ecotipo a ₁ pinto recodo con d ₂ densidad de 1333 pl.ha ⁻¹
T ₃	a ₁ d ₃	Ecotipo a ₁ pinto recodo con d ₃ densidad de 1111 pl.ha ⁻¹
T ₄	a ₁ d ₄	Ecotipo a ₁ pinto recodo con d ₄ densidad de 952 pl.ha ⁻¹
T ₅	a ₂ d ₁	Ecotipo a ₂ alto mayo con d ₁ densidad de 1667 pl.ha ⁻¹
T ₆	a ₂ d ₂	Ecotipo a ₂ alto mayo con d ₂ densidad de 1333 pl.ha ⁻¹
T ₇	a ₂ d ₃	Ecotipo a ₂ alto mayo con d ₃ densidad de 1111 pl.ha ⁻¹
T ₈	a ₂ d ₄	Ecotipo a ₂ alto mayo con d ₄ densidad de 952 pl.ha ⁻¹

3.3.4. Dimensiones del área experimental

Dimensión de bloques

- Número de bloques : 3
- Largo de bloques : 88 m.
- Ancho de bloques : 12 m.
- Área de cada bloque : 1056 m².

Dimensión de parcelas

- Número de parcelas totales : 24
- Número de parcelas por bloque : 8
- Largo de parcela : 12 m
- T₁ y T₅ : 8 m
- T₂ y T₆ : 10 m
- T₃ y T₇ : 12 m
- T₄ y T₈ : 14 m
- Ancho de cada parcela : 12 m
- Área de parcela por bloque : 168 m²
- T₁ y T₅ : 96 m²
- T₂ y T₆ : 120 m²
- T₃ y T₇ : 144 m²
- T₄ y T₈ : 168 m²
- Área total de parcela

- T ₁ y T ₅	:	288 m ²
- T ₂ y T ₆	:	360 m ²
- T ₃ y T ₇	:	432 m ²
- T ₄ y T ₈	:	504 m ²
Número de hileras por parcela	:	4.
Ancho de hileras		
- d ₁	:	2.0 m
- d ₂	:	2.5 m
- d ₃	:	3.0 m
- d ₄	:	3.5 m
Distanciamiento entre golpes	:	3.00 m
Número de golpes por hilera	:	4
Número de plantas por golpe	:	1
Área neta a cosechada por parcela		
- T ₁ y T ₅	:	24 m ²
- T ₂ y T ₆	:	30 m ²
- T ₃ y T ₇	:	36 m ²
- T ₄ y T ₈	:	42 m ²

Dimensiones del campo experimental

- Largo	:	88 m
- Ancho	:	38 m
- Distanciamiento entre bloque	:	1 m
- Bordes	:	1 m
- Área total campo experimental	:	3344 m ²

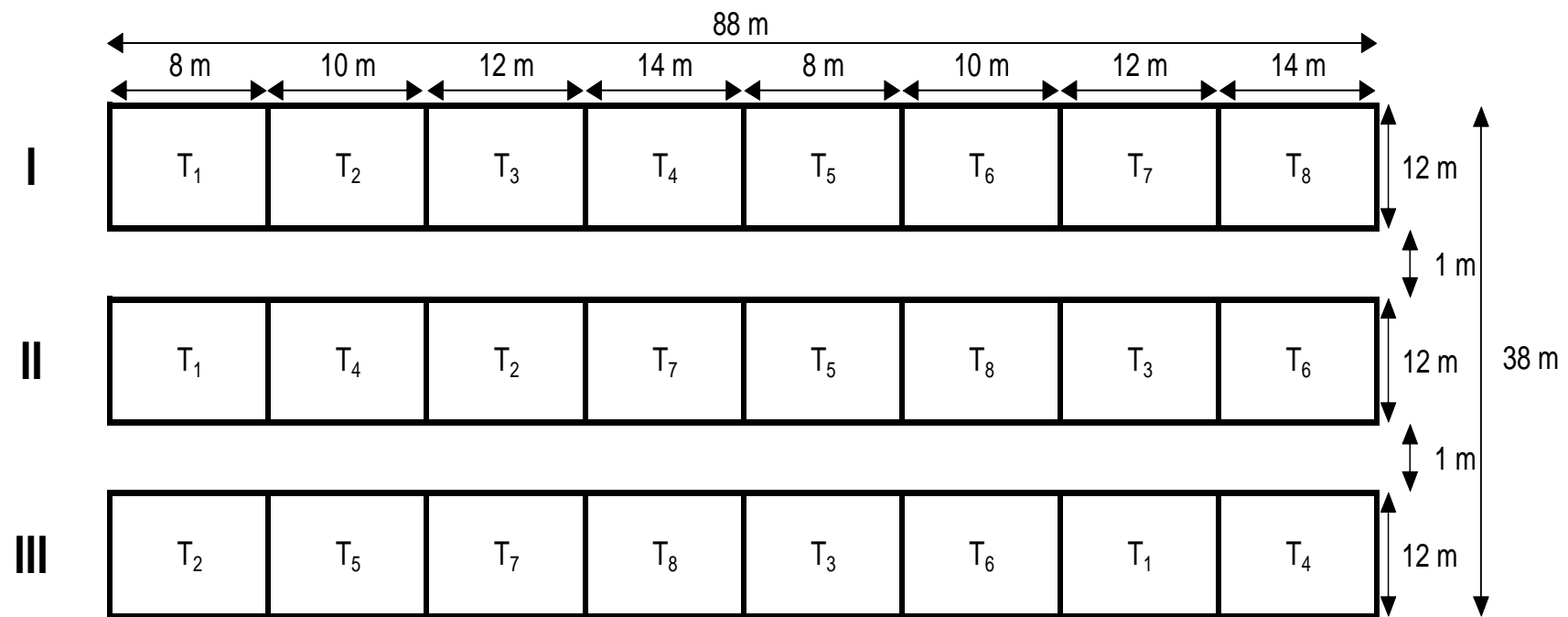


Figura 8. Croquis del campo experimental.

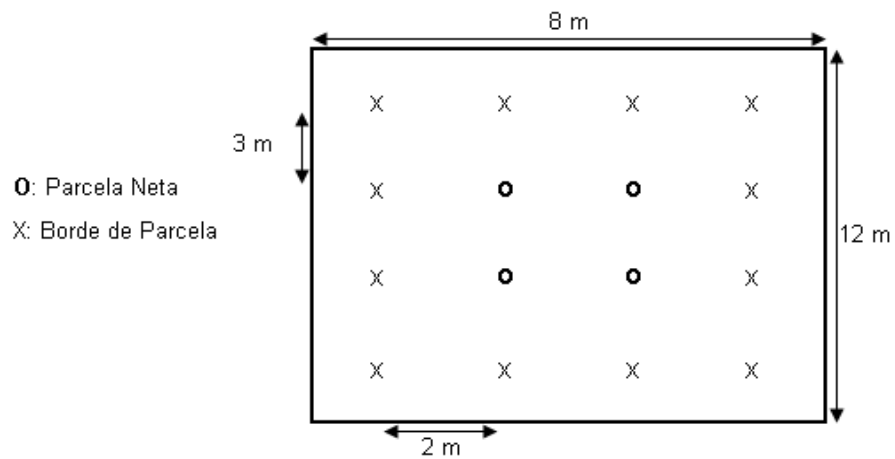


Figura 9. Distribución de plantas de *Plukenetia volubilis* L., en la parcela T₁ y T₅.

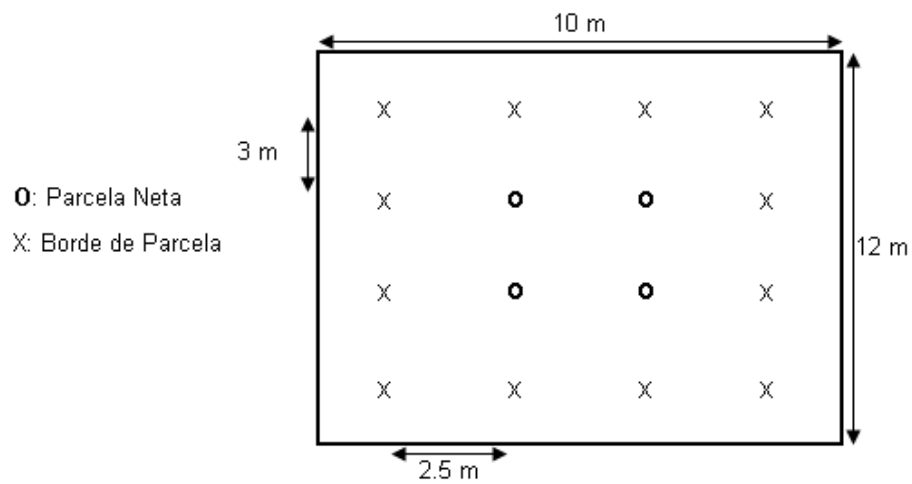


Figura 10. Distribución de plantas de *Plukenetia volubilis* L en la parcela T₂ y T₆.

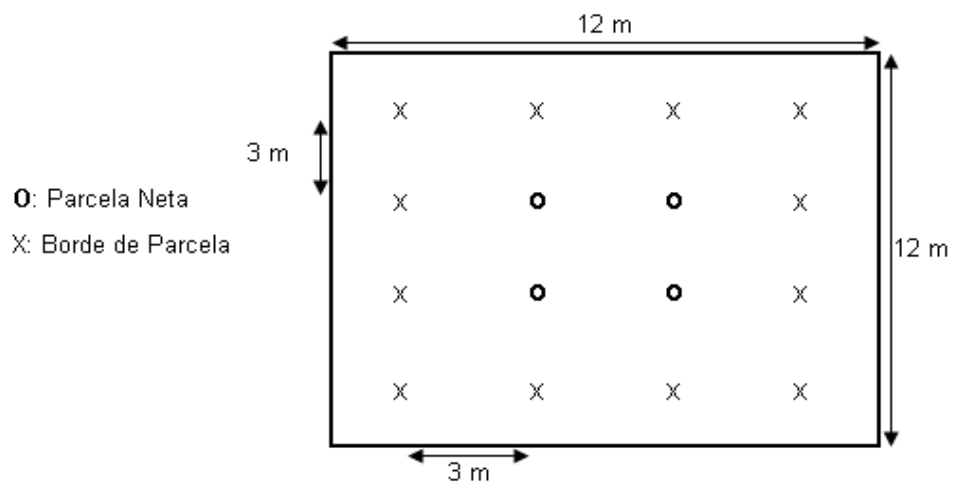


Figura 11. Distribución de plantas de *Plukenetia volubilis* L en la parcela T₃ y T₇.

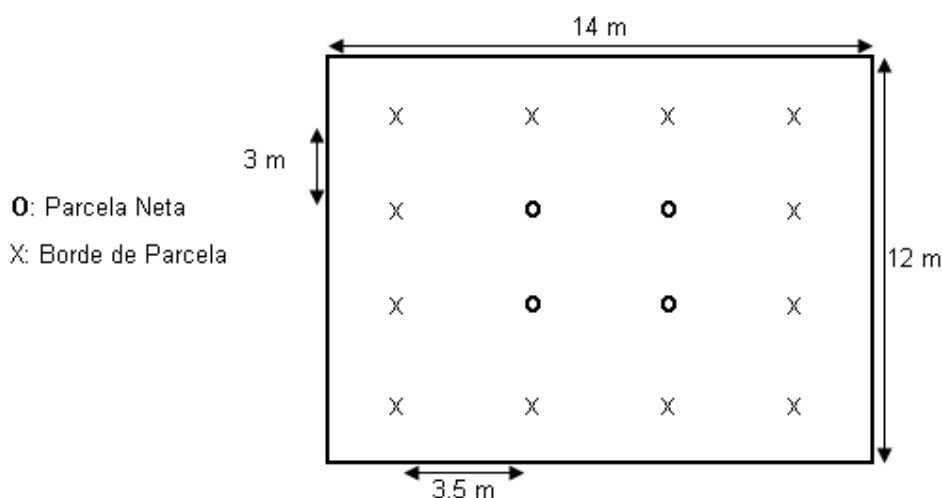


Figura 12. Distribución de plantas de *Plukenetia volubilis* L en la parcela T₄ y T₈.

3.3.5. Ejecución del experimento en campo

a. Instalación de las plantas de sachá inchi

Obtención de semilla. Las semillas fueron proporcionadas por Industrias Amazónicas S.A proveniente de Tarapoto. La semilla presentó su respectivo análisis de semilla, en el estudio se obtuvo porcentaje de germinación de 75% para el ecotipo Pinto Recodo y 70% para el ecotipo Alto Mayo.

Limpieza, demarcación y alineado. La limpieza del terreno se realizó en forma manual utilizando machete (rozo bajo), seguido de un picacheo y junta de algunos maderitas que se utilizó para el estacado. La demarcación y alineado consistió fijar estacas en línea a distancias en fajas e hileras según indicaciones del croquis experimental.

Hoyado y siembra. El hoyado consistió en la remoción del suelo con la ayuda de una hoyadora manual. El hoyo quedó con dimensiones de 30 cm x 30 cm x 30 cm, separando la primera capa para la etapa de siembra. Antes de sembrar el material genético, las semillas fueron remojadas por 20 horas descartando aquellas que flotaban. Luego se procedió a desinfectar con Benlate 1.0% para posteriormente sembrar colocando la semilla verticalmente la parte más gruesa hacia abajo a una profundidad de 2 a

3 cm debajo del nivel superficial del suelo. Se colocó una semilla por golpe. En este experimento no se fertilizó.

b. Instalación del sistema de tutoraje

Tutores vivos. Se realizó en forma manual, instalando postes de *Erythrina* sp., para cada planta de sachá inchi. Los postes tuvieron las siguientes dimensiones: 2.50 m de longitud y 0.10 m de diámetro los cuales se han enterrado a una profundidad de 0.5 m.

c. Mantenimiento y labores culturales

Deshierbo y aporque. Se realizó 4 deshierbas manuales, cada 3 meses después de la siembra, utilizando azadones, en la misma actividad se realizó el aporque necesario a cada una de las plantas.

Podas de formación, mantenimiento y fitosanitario. La poda de formación se realizó a 40 cm de altura. Se eliminó ramas o guías mal formadas. A partir de ésta se realizó la poda de mantenimiento y fitosanitaria, el mismo sirvió para mantener una altura productiva de 2 m que facilitando su mantenimiento.

d. Cosecha y poscosecha

Cosecha. Se realizó a 8.5 meses después de la siembra, cuando los frutos están secos, recogiendo las cápsulas manualmente cada 15 a 30 días. El periodo de cosecha para el experimento duró de abril a junio del 2008.

Poscosecha. Después de la cosecha se procedió al secado exponiendo los frutos secos al sol utilizando mantadas. Con los frutos rescos el trabajo de trillado se facilitó logrando separar el tegumento (cáscara) de las semillas, luego se almacenó según su procedencia para cada parcela y tratamiento.

3.3.6. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron tres. El primero relacionado al carbono secuestrado en la biomasa materia seca del sachá inchi: fruto, hojas, tallo y raíz el cual se obtuvo transcurrido 12 meses. La segunda variable evaluada consistió en la medición de materia orgánica del suelo tras un año de la cual se obtuvo el contenido de carbono secuestrado a tres profundidades del suelo. La tercera variable fue el rendimiento de semillas cosechadas cada 15 días registrando el peso en kg/parcela a partir de los 8.5 meses hasta un año.

Carbono secuestrado a nivel de biomasa

Trascurrido doce meses se empleó el método destructivo (ARAÚJO *et al.*, 1999) para obtener muestra de biomasa de cada parcela neta de sachá inchi y a partir de éste se determinó el carbono secuestrado. Para ello se procedió a tomar 2 plantas al azar (de un total de 4 por parcela neta). Esta operación se efectuó para cada tratamiento y dentro de cada bloque. Seguido, todo el material vegetativo fue clasificado en hoja, tallo, fruto y raíz, registrándose el peso de materia fresca (PMF) de cada clase. Seguido se preparó las muestras clasificadas para obtener de cada tipo una sub muestra de 1.0 g que fue llevada a crisol con temperatura de 500 °C por 8 horas obteniéndose el peso de materia seca en mufla (PMS). Lo descrito permitió medir el contenido de humedad (CH) en términos de porcentaje de masa de agua respecto al de la biomasa seca (B). Por último el carbono secuestrado de cada parte vegetativa se calculó multiplicando el valor de la Bs por la proporción de carbono $pC=0.5$ mediante ecuación de SCHLEGEL *et al.* (2001).

$$CH = \frac{PMF - PMS}{PMS} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- CH : Contenido de humedad (%).
 PMF : Peso de materia fresca (g).
 PMS : Peso de materia seca (g).

El CH se determinó en relación al peso seco de la muestra, precisando que el contenido de humedad en peso seco “compara” la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca. Por ejemplo un valor de 200% significa que la masa de agua presente en el material es 2 veces su masa seca. Con esto la proporción de peso seco correspondió a la biomasa aérea del sacha inchi. Por tanto, prosiguiendo se aplicó la ecuación (2) que permitió calcular el carbono secuestrado para hoja, tallo, raíz proceso referido por SCHLEGEL *et al.* (2001).

$$Bs = \frac{PhBt}{1 + (CH/100)} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- Bs = Biomasa seca (g)
 PhBt = Peso húmedo total de la biomasa (g)
 CH = Contenido de humedad (%)

Los valores se dividieron por un mil para obtener kilogramos (Kg). Estos valores se multiplicaron por la proporción de carbono establecida por el IPCC que por falta de especificidad se adoptó 0.5.

Carbono secuestrado a nivel del suelo

El carbono se determinó valorando el carbono orgánico del suelo. Para ello se obtuvo muestras de suelo de cada parcela con tratamiento de sacha inchi. Se excavó el suelo a profundidades de 20 cm, 40 cm y 60 cm obteniendo de cada sección una sub muestra para determinar la densidad aparente del suelo (Das). Del mismo punto de muestreo se obtuvo 1 Kg de suelo por nivel de profundidad el mismo que fue llevado al Laboratorio de Suelo de la UNAS donde se empleó el método de WALKLEY and BLACK (1934) para determinar la concentración de carbono orgánico del suelo [COS]. Por ultimo para estimar la cantidad de carbono en el suelo (kg C/ha) se utilizó el procedimiento referido por RUGNITZ *et al.* (2009).

$$COS = [COS] * Das * Pfs \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

COS = Carbono orgánico del suelo (kg C/ha).

[COS] = Concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa obtenida del análisis de laboratorio (g C/kg de suelo).

Das = Densidad aparente, masa de suelo por volumen (kg de suelo m⁻³).

Pfs = Profundidad del horizonte de la capa de suelo en metros (m).

Determinación del rendimiento y rentabilidad

Rendimiento. Se realizó a 8.5 meses después de la siembra hasta los 12 meses. Cada cosecha se recolecto frutos solo cuando estos se mostraban secos, recogándose las cápsulas manualmente cada 15 a 30 días. Se registró el peso de las semillas en kilogramo por parcela neta, en las ocho cosechas que se efectuó en la ejecución del presente trabajo.

Rentabilidad. La rentabilidad se determinó considerando el valor de la semilla por kg, el producto total para cada tratamiento desafectando los costos de producción para cada caso. Los cálculos fueron realizados utilizando las siguientes ecuaciones (AGUILAR *et al.*, 2009).

a. Valor de producción (VP)

$$VP = PT \times P \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

PT = Producto total (rendimiento de semillas).

P = Precio de cada unidad de producción.

b. Rendimiento neto (RN)

$$RN = VP - CT \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

VP = Valor de producción.

CT = Costos totales (costos fijos + costos variables).

c. Índice de rentabilidad (IR)

$$IR = (RN/CT) \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

RN = Rendimiento neto.

CT = Costos totales.

IV. RESULTADOS

4.1. **Carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalado a cuatro densidades de siembra**

El análisis de varianza para tratamientos presentado en el Cuadro 22 sugiere diferencias significativas en el carbono secuestrado en biomasa seca: hoja, tallo, fruto y raíz de sachá inchi evaluados en el experimento. Notamos que no se cumplió la igualdad de medias entre las combinaciones de ecotipos y densidad de siembra. Lo anterior indicaría que existe al menos una combinación de ecotipo y densidad de siembra con mayor capacidad de secuestrar carbono en biomasa para condiciones del experimento realizado.

Respecto a los bloques (replicas) del experimento, el análisis de varianza para las variables submateria, se determinó diferencias estadísticas para el carbono secuestrado solo a nivel de hojas. En contrario, los resultados para tallo, fruto y raíz no mostraron significancia (Cuadro 22). Estos resultados evidencian que los bloques ayudaron a mejorar el experimento solo a nivel de hojas, mientras que en el tallo, fruto y raíz no lo mejoró.

En el efecto de densidad de siembra (D), se observa diferencias significativas en el secuestro de carbono para hoja, tallo, fruto y raíz. No obstante, resultó nulo para el efecto de ecotipos (A), no mostrando diferencias estadísticas significativas para el secuestro de carbono en biomasa: hoja, tallo, fruto y raíz (Cuadro 22).

En relación al experimento y al efecto de los factores ecotipo (A) y densidad de siembra (D) al juzgar los resultados del Cuadro 22 podemos precisar que no existió efecto interactivo de los factores sobre el secuestro de carbono en hoja, tallo, fruto y raíz de sachá inchi.

Cuadro 22. Análisis de varianza del carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios							
		Hoja		Tallo		Fruto		Raíz	
Bloques	2	1335.03	s	19362.06	n.s	12.61	n.s	597.41	n.s
Tratamientos	7	26242.93	s	183606.35	s	13171.85	s	2112.44	s
A (Ecotipos)	1	71.14	n.s	2312.14	n.s	6.02	n.s	348.00	n.s
D (Densidad de siembra)	3	61045.30	s	425569.59	s	30731.14	s	4677.30	s
A x D	3	164.49	ns	2074.51	ns	1.17	n.s	135.73	n.s
Error experimental	14	306.91		13544.31		270.18		273.74	
Total	23								
	c.v =	4.19%		11.35%		5.78%		11.74%	

N.S : No significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

Para obtener efectos prácticos de los resultados es posible definir el efecto factorial simple como el efecto puntual de una variable independiente o factor para cada valor de la otra, Dicho esto, aunque según el análisis de varianza para el efecto interactivo no presentó diferencias significativas para el carbono secuestrado en hojas, tallo, fruto y raíz de sachá inchi (Cuadro 22), podemos obtener algunas observaciones del análisis de los efectos simples de los niveles del factor ecotipo (A) y densidad de siembra (D). Así, los efectos interactivos presentados en el Cuadro 23, confirman que el factor ecotipo (A) mostró comportamiento similar en cada nivel de densidad de siembra evaluado $d_1=1667 \text{ pl.ha}^{-1}$, $d_2=1333 \text{ pl.ha}^{-1}$, $d_3=1111 \text{ pl.ha}^{-1}$ y $d_4=952 \text{ pl.ha}^{-1}$, confirmando la no significancia para el carbono secuestrado en la biomasa de sachá inchi.

Según resultados del Cuadro 23 respecto al efecto simple del factor densidad de siembra (D) sobre el secuestro de carbono correspondiente al factor (A) ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo notamos que los efectos fueron significativos para el carbono secuestrado en todas las variables consideradas. Con esto podemos afirmar que la densidad de siembra si afecta la capacidad de secuestrar carbono en cada ecotipo. Con el resultado obtenido se hubiera esperado significancia estadística en el análisis de varianza principal presentado en el Cuadro 22. Sin embargo los valores fueron no determinantes para alcanzar significancia estadística.

El análisis del diseño factorial supone ventajoso para la obtención de múltiples respuestas sobre efectos principales y efectos simples de cada factor, pero en contraparte la interpretación no siempre es familiarizable. De lo señalado en los párrafos precedentes sobre los resultados de los efectos simples del factor ecotipo (A) y densidad de siembra (D), una forma sencilla de representar el resultado sería mencionando que: Los ecotipos no afectan la cantidad de carbono secuestrado. Pero si nos referimos a la densidad de siembra, en este caso podemos señalar que este factor si afecta de manera notables la cantidad de carbono secuestrado en cada uno de los ecotipos utilizados en el experimento.

Cuadro 23. Análisis de varianza de efectos simples sobre carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medias							
		Hoja		Tallo		Fruto		Raíz	
Ecotipos (A)									
A en d ₁	1	7.45	n.s	212.99	n.s	0.02	n.s	675.51	n.s
A en d ₂	1	432.97	n.s	7383.58	n.s	1.78	n.s	56.92	n.s
A en d ₃	1	109.70	n.s	910.60	n.s	1.52	n.s	21.93	n.s
A en d ₄	1	14.47	n.s	28.51	n.s	6.20	n.s	0.82	n.s
Densidades (D)									
D en a ₁	3	29679.98	s	212466.27	s	15186.88	s	3166.08	s
D en a ₂	3	31529.80	s	215177.83	s	15545.43	s	1646.95	s
Error experimental	14	306.91		13544.31		270.18		273.74	

N.S : No existe significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

Los resultados para carbono secuestrado proveniente de los efectos simples de cada uno de los factores fueron contratantes para la densidad de siembra en cada uno de sus niveles, pero no para los ecotipos empleados en el presente experimento.

En observancia al Cuadro 24 sobre el efecto simple de los ecotipos Pinto Recodo (a_1) y Alto Mayo (a_2) sobre la densidad de siembra 1667 pl. ha^{-1} (d_1), 1333 pl. ha^{-1} (d_2), 1111 pl. ha^{-1} (d_3) y 952 pl. ha^{-1} (d_4), notamos que los efectos simples fueron no significativos produciendo efectos similares para el secuestro de carbono tanto en hoja, tallo, fruto y raíz de sachá inchi. Entonces podemos decir que el ecotipo Pinto Recodo (a_1) y Alto Mayo (a_2) sembrados a una misma densidad secuestran la misma cantidad de carbono con esto damos idea de esta situación sin efectos significativos para el factor densidad de siembra sobre el ecotipo.

En consideración al efecto inverso, es decir el efecto simple de la densidad de siembra 1667 pl. ha^{-1} (d_1), 1333 pl. ha^{-1} (d_2), 1111 pl. ha^{-1} (d_3) y 952 pl. ha^{-1} (d_4) sobre los ecotipos Pinto Recodo (a_1) y Alto Mayo (a_2) presentados en el mismo Cuadro 24, podemos indicar que el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de siembra de $1667 \text{ plantas. ha}^{-1}$ (d_1), supera significativamente a las demás combinaciones para el carbono almacenado en hoja $548.87 \text{ kgC. ha}^{-1}$, tallo con $1370 \text{ kgC. ha}^{-1}$ y fruto con $376.79 \text{ kgC. ha}^{-1}$, sin embargo a nivel de raíz la mejor combinación resultó ser la densidad (d_1) 1667 pl. ha^{-1} con el ecotipo Pinto Recodo (a_1) obteniéndose $186.02 \text{ kgC. ha}^{-1}$ obteniéndose para la primera combinación solo $164.79 \text{ kgC. ha}^{-1}$. En mención a las combinaciones con peor capacidad de secuestrar carbono el puesto lo ocupó el ecotipo pinto recodo (a_1) con una densidad de siembra de 952 pl. ha^{-1} (d_4), tanto para la hoja y tallo. Lo mostrado por los resultados hasta este punto corresponde a lo que intuitivamente podemos asumir, ya que a mayor número de individuos (plantas) por unidad de superficie (área) el sistema o combinación podrá secuestrar mayor cantidad de carbono.

Cuadro 24. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para los efectos simples del secuestro de carbono en biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalados en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad.

Carbono secuestrado en hoja, tallo, fruto y raíz C (kg/ha)														
Efecto simple del factor densidad de siembra (D)														
	Hoja				Tallo				Fruto				Raíz	
d ₁ (1667 pl.ha-1)	a ₂ (S:13)	548.87	a	a ₂ (S:13)	1370.64	a	a ₂ (S:13)	376.79	a	a ₁ (S:7)	186.02	a		
	a ₁ (S:7)	546.64	a	a ₁ (S:7)	1358.72	a	a ₁ (S:7)	376.67	a	a ₂ (S:13)	164.79	a		
d ₂ (1333 pl.ha-1)	a ₂ (S:13)	453.35	a	a ₁ (S:7)	1122.68	a	a ₁ (S:7)	300.51	a	a ₁ (S:7)	151.86	a		
	a ₁ (S:7)	436.36	a	a ₂ (S:13)	1052.52	a	a ₂ (S:13)	299.42	a	a ₂ (S:13)	145.70	a		
d ₃ (1111 pl.ha-1)	a ₁ (S:13)	365.13	a	a ₁ (S:7)	920.70	a	a ₁ (S:7)	251.38	a	a ₁ (S:7)	131.51	a		
	a ₂ (S:7)	356.58	a	a ₂ (S:13)	896.06	a	a ₂ (S:13)	250.37	a	a ₂ (S:13)	127.69	a		
d ₄ (952 pl.ha-1)	a ₂ (S:13)	321.07	a	a ₂ (S:13)	744.54	a	a ₁ (S:7)	211.43	a	a ₂ (S:13)	110.32	a		
	a ₁ (S:7)	317.96	a	a ₁ (S:7)	740.18	a	a ₂ (S:13)	209.39	a	a ₁ (S:7)	109.57	a		
Efecto simple del factor ecotipo (A)														
	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)	a ₁ (S:7)	a ₂ (S:13)		
d ₁ (1667 pl.ha-1)	546.64	a d ₁	548.87	a d ₁	1358.72	a d ₁	1370.64	a d ₁	376.67	a d ₁	376.79	a d ₁	186.02	a d ₁
d ₂ (1333 pl.ha-1)	436.36	b d ₂	453.35	b d ₂	1122.68	b e	1052.52	b e	300.51	b d ₂	299.42	b d ₂	151.86	b e
d ₃ (1111 pl.ha-1)	365.13	c d ₃	356.58	c d ₃	920.70	c e g	896.06	c e g	251.38	c d ₃	250.37	c d ₃	131.51	c e g
d ₄ (952 pl.ha-1)	317.96	d d ₄	321.07	d d ₄	740.18	d f g	744.54	d f g	211.43	d d ₄	209.39	d d ₄	109.57	d f g

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significación estadística.

Cuadro 25. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de ecotipos en el secuestro de carbono en biomasa de *Plukenetia volubilis* L.

Ecotipo	Carbono en hoja, tallo, fruto y raíz (kg C/ha)							
	Hoja		Tallo		Fruto		Raíz	
a ₁	416.52	a	1035.57	a	285.00	a	144.74	a
a ₂	419.97	a	1015.94	a	283.99	a	137.13	a

Del Cuadro 25 se asume que no se presentó diferencia significativa entre los dos ecotipos estudiados siendo el ecotipo Pinto Recodo (a₁) supera en el carácter secuestramiento de carbono en tallo, fruto y raíz de sachá inchi respecto al ecotipo Alto Mayo (a₂). Sin embargo, el ecotipo Alto Mayo (a₂) supera en el carácter secuestramiento de carbono en hoja de sachá inchi respecto al ecotipo Alto Mayo (a₁).

4.2. Carbono en el suelo en dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instaladas a cuatro densidades de siembra

En el secuestro de carbono en el suelo del cultivo de sachá inchi, se ha encontrado que no existe diferencias estadísticas en toda las fuentes de variación bloques, tratamientos, efecto del ecotipo Pinto Recodo (a₁), efecto del ecotipo Alto Mayo (a₂), efecto de interacción ecotipo (A) x densidad de siembra (D), en todo para las tres profundidades de evaluación: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm (Cuadro 26).

Remitiéndonos al coeficiente de variación para los tres niveles de profundidad notamos alta variabilidad de las observaciones CV de 0-20 cm 25.99%, CV de 20-40 cm 32.90% y 40-60 cm 66.08%. Esta valoración es importante, ya que era de esperar diferencias significativas al menos respecto a la densidad de siembra, es decir como consecuencia de tener más individuos por área se espera también que a nivel de suelo el carbono secuestrado sea mayor. No obstante la alta variabilidad no permitió discriminar esta situación.

Cuadro 26. Resumen de análisis de varianza del secuestro de carbono en suelo de *Plukenetia volubilis* L.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios					
		0 – 20 cm		20 – 40 cm		40 – 60 cm	
Bloques	2	183859200	n.s	615583800	s	401700600	n.s
Tratamientos	7	171426857	n.s	137727000	n.s	116768829	n.s
A (Ecotipos)	1	54000000	n.s	87096600	n.s	653400	n.s
D (Densidades)	3	242100000	n.s	131693400	n.s	46315800	n.s
A x D	3	139896000	n.s	160637400	n.s	225927000	n.s
Error Experimental	14	191505600		107076600		181966886	
Total	23						
	c.v =	25.99%		32.90%		66.08%	

N.S : No significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

Cuadro 27. Resumen de análisis de varianza de efectos simples para el secuestro de carbono en suelo de *Plukenetia volubilis* L.

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios					
		0 – 20 cm		20 – 40 cm		40 – 60 cm	
Ecotipos (A)							
A en d ₁	1	148802400	n.s	203234400	n.s	486000000	n.s
A en d ₂	1	85730400	n.s	163490400	n.s	45705600	n.s
A en d ₃	1	233625600	n.s	190857600	n.s	49766400	n.s
A en d ₄	1	5529600	n.s	11426400	n.s	96962400	n.s
Densidades (D)							
D en a ₁	3	368794800	n.s	58849200	n.s	42062400	n.s
D en a ₂	3	13201200	n.s	233481600	n.s	230180400	n.s
Error experimental	14	191505600		107076600		181966886	

N.S : No existe significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

Del Cuadro 27 afirmamos que no existió diferencias estadísticas entre los ecotipos (A) cuando se utiliza las cuatro densidades de siembra (d₁), (d₂), (d₃) y (d₄), a nivel de las tres profundidades de evaluación. Asimismo, no se pudo probar diferencias estadísticas entre las densidades de siembra (D) cuando se utilizó el primer (a₁) y segundo ecotipo (a₂) de sachá inchi, en las tres profundidades de evaluación.

Cuadro 28. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el estudio de efectos simples del secuestro de carbono en el suelo en dos ecotipos *Plukenetia volubilis* L., en cuatro densidades de siembra a 1 año de edad.

Carbono en el suelo (tC.ha⁻¹)																	
Efecto simple del factor densidad de siembra (D)																	
0 – 20 cm						20 – 40 cm						40 – 60 cm					
d ₁ (1667 pl.ha ⁻¹)						a ₂						a ₂					
a ₁	67.56	a	a ₂	43.80	a	a ₂	33.12	a	a ₁	57.60	a	a ₁	32.16	a	a ₁	15.12	a
d ₂ (1333 pl.ha ⁻¹)						a ₁						a ₁					
a ₂	53.64	a	a ₁	34.44	a	a ₁	23.64	a	a ₁	46.08	a	a ₂	24.00	a	a ₂	18.12	a
d ₃ (1111 pl.ha ⁻¹)						a ₂						a ₁					
a ₂	54.96	a	a ₂	37.08	a	a ₁	21.72	a	a ₁	42.48	a	a ₁	25.80	a	a ₂	15.96	a
d ₄ (952 pl.ha ⁻¹)						a ₂						a ₁					
a ₂	52.80	a	a ₂	28.56	a	a ₁	21.84	a	a ₁	50.88	a	a ₁	25.80	a	a ₂	13.80	a
a ₁	50.88	a	a ₁	25.80	a	a ₂	13.80	a	Efecto simple del factor ecotipo (A)								
a ₁			a ₂			a ₁			a ₂			a ₁			a ₂		
d ₁ (1667 pl.ha ⁻¹)	67.56	a	d ₁	57.60	a	d ₂	34.44	a	d ₁	43.80	a	d ₂	23.64	a	d ₁	33.12	a
d ₄ (952 pl.ha ⁻¹)	50.88	a	d ₃	54.96	a	d ₁	32.16	a	d ₃	37.08	a c	d ₄	21.84	a	d ₂	18.12	a
d ₂ (1333 pl.ha ⁻¹)	46.08	a	d ₂	53.64	a	d ₃	25.80	a	d ₄	28.56	a c	d ₃	21.72	a	d ₃	15.96	a
d ₃ (1111 pl.ha ⁻¹)	42.48	a	d ₄	52.80	a	d ₄	25.80	a	d ₂	24.00	b c	d ₁	15.12	a	d ₄	13.80	a

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significación estadística.

a₁ = ecotipo Pinto Recodo, a₂ = ecotipo Alto Mayo.

Del Cuadro 28 se desprende que el secuestro de carbono a una profundidad de 0-20 cm del suelo, el ecotipo Pinto Recodo (a_1) con una densidad de siembra de 1667 pl.ha^{-1} (d_1), supera significativamente a las demás combinaciones, ocupando en el último lugar el ecotipo Pinto Recodo (a_1) con una densidad de siembra de 1111 pl.ha^{-1} (d_3) para la misma profundidad del suelo 0-20 cm en el cultivo de sachá inchi. De modo diferente, el secuestro de carbono a una profundidad de 20-40 cm, el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de siembra de 1667 pl.ha^{-1} (d_1), supera significativamente a las demás combinaciones, ocupando en el último lugar el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de siembra de 1333 pl.ha^{-1} (d_2), en el carácter secuestro de carbono a una profundidad de 20-40 cm, de profundidad en sachá inchi. Sin embargo, el secuestro de carbono a una profundidad de 40-60 cm, el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de siembra de 1667 pl.ha^{-1} (d_1), supera significativamente a las demás combinaciones. Entre tanto, el último lugar fue ocupado por el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de siembra de 952 pl.ha^{-1} (d_4), en el carácter secuestro de carbono a una profundidad de 40-60 cm de profundidad de suelo del sachá inchi.

Cuadro 29. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de ecotipos (A) en el secuestro de carbono en suelo de *Plukenetia volubilis* L.

Ecotipo	Carbono en el suelo (tC.ha^{-1})					
	0 – 20 cm		20 – 40 cm		40 – 60 cm	
a_1 Pinto Recodo	51.75	a	29.55	a	20.25	a
a_2 Alto Mayo	54.75	a	33.36	a	20.58	a

Del Cuadro 29, se deduce que no se presentó diferencias estadística entre los dos ecotipos estudiados, siendo el ecotipo Alto Mayo (a_2) supera en el carácter secuestro de carbono en suelo de sachá inchi respecto al ecotipo Pinto Recodo (a_1), en evaluación de 0-20 cm, de profundidad. Asimismo, no existe diferencias estadística entre los dos ecotipos estudiados, siendo el ecotipo Alto Mayo (a_2) supera en el carácter

secuestro de carbono en suelo de sacha inchi respecto al ecotipo Pinto Recodo (a_1), en evaluación de 20-40 cm, de profundidad. Finalmente, no existe diferencia estadística entre los dos ecotipos estudiados. Siendo el ecotipo Alto Mayo (a_2) supera en el carácter secuestro de carbono en suelo de sacha inchi respecto al ecotipo Pinto Recodo (a_1), en evaluación de 40-60 cm de profundidad.

4.3. Rendimiento en semilla de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalados a cuatro densidades de siembra

Para precisar, tal como se estableció en la metodología de investigación el rendimiento de las semillas provinieron de la acumulación de cosecha de frutos de cada parcela neta con frecuencia de 15 días entre cosecha, el mismo se inició a los 8.5 meses después de la siembra y finalizó a los 12 meses. Estadísticamente se encontró diferencia significativa referente al rendimiento de semillas limpias medidas en $t.ha^{-1}$ para cada tratamiento según resultados del Cuadro 30. Dicho esto, siguiendo el protocolo estadístico establecido, los efectos de los ecotipos y las densidades de siembra fueron analizados por su efecto simple en el Cuadro 31. En relación a los bloques, estos resultaron no significativos por lo que no ayudaron a mejorar la precisión del experimento para esta variable respuesta.

Cuadro 30. Resumen de análisis de varianza del rendimiento de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., a cuatro densidades de siembra.

Fuente de variación	G.L.	Rendimiento de semillas de sacha inchi ($t.ha^{-1}$)	
		Cuadrados medios	
Bloques	2	0.00045	n.s
Tratamientos	7	0.35732	s
A (Ecotipos)	1	1.59022	s
D (Densidades)	3	0.05115	s
A x D	3	0.25251	s
Error experimental	14	0.00116	
Total	23		
	C.V =	4.80%	

N.S : No existe significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

A partir del Cuadro 31 los resultados ponen en manifiesto que el efecto simple del factor ecotipo (A) fueron significativos para una densidad de $d_1 = 1667 \text{ pl.ha}^{-1}$, $d_3 = 1111 \text{ pl.ha}^{-1}$ y 952 pl.ha^{-1} . Pero en mención al efecto del factor ecotipo sobre la densidad de siembra $d_2 = 1333 \text{ pl.ha}^{-1}$ la significancia estadística fue nula. Este resultado podría deberse a un error aleatorio no controlado (cosecha), ya que según valores del resto de densidades de siembra era de esperar que el efecto sea significativo en todos los niveles viendo el efecto global del factor ecotipo sobre la densidad de siembra.

Para el caso del efecto simple de la densidad de siembra (D) sobre el factor ecotipo (A) detallados en el Cuadro 31, los resultados registrados fueron significativos en cada nivel del ecotipo, es decir tanto en Pinto Recodo (a_1) y Alto Mayo (a_2) la densidad de siembra afectó el rendimiento en la obtención de semillas de sachá inchi. Lo anterior demanda realizar el análisis de los promedios según prueba de Duncan tal como se presenta en el Cuadro 32 para los efectos simples.

Cuadro 31. Resumen de análisis de varianza de efectos simples en el rendimiento de semillas de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., sembradas a cuatro densidades de siembra.

Fuente de variación	G.L.	Rendimiento de semillas de sachá inchi	
		Cuadrados medios	
Ecotipos (A)			
A en d_1	1	0.58583	s
A en d_2	1	0.00004	n.s
A en d_3	1	0.31336	s
A en d_4	1	1.44853	s
Densidades (D)			
D en a_1	3	0.04400	s
D en a_2	3	0.25966	s
Error Experimental	14	0.00116	

N.S : No existe significación estadística.

S : Significación de estadística al 5% de probabilidad.

Siguiendo el análisis de la secuencia anterior, en atención a la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 0.05 del Cuadro 32 se puede concluir que las diferencias estadísticas significativas entre los ecotipos (A) cuando se utiliza la primera ($d_1 = 1667 \text{ pl.ha}^{-1}$), tercera ($d_3 = 1111 \text{ pl.ha}^{-1}$) y cuarta densidad de siembra ($d_4 = 952 \text{ pl.ha}^{-1}$). Sin embargo, no se pudo probar diferencias estadísticas entre los ecotipos cuando se utilizó la segunda densidad de siembra (d_2) en el rendimiento de almendras en sacha inchi. Por otro lado, se encontró diferencias estadísticas entre las densidades de siembra (D) cuando se utilizó el primer (d_1) y segundo ecotipo (a_2) de sacha inchi.

Cuadro 32. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el rendimiento de semillas de dos ecotipos *Plukenetia volubilis* L., sembrados a cuatro densidades de siembra.

Rendimiento semillas de sacha inchi (t.ha^{-1})				
Efecto simple del factor densidad de siembra (D)				
d_1 (1667 pl.ha^{-1})	a_2	1.07442	1.5239	a
	a_1	0.44948		b
d_2 (1333 pl.ha^{-1})	a_1	0.57930	1.1532	a
	a_2	0.57387		a
d_3 (1111 pl.ha^{-1})	a_2	0.94623	1.4354	a
	a_1	0.48917		b
d_4 (952 pl.ha^{-1})	a_2	1.27219	1.5617	a
	a_1	0.28950		b
Efecto simple del factor ecotipo (A)				
	a_1 (S:7)		a_2 (S:13)	
d_2 (1333 pl.ha^{-1})	0.57930	a	d_4 1.27219	a
d_3 (1111 pl.ha^{-1})	0.48917	b e	d_1 1.07442	b e
d_1 (1667 pl.ha^{-1})	0.44948	c e g	d_3 0.94623	c f h
d_4 (952 pl.ha^{-1})	0.28950	d f h	d_2 0.57387	d g i

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significación estadística.

a_1 = ecotipo Pinto Recodo, a_2 = ecotipo Alto Mayo.

En el Cuadro 32 también indicó que el ecotipo Alto Mayo (a_2) con densidades de siembra de 1667 pl. ha^{-1} (d_1), 1111 pl. ha^{-1} (d_3) y 952 pl. ha^{-1} (d_4), supera significativamente a las demás combinaciones, ocupando en el último lugar el ecotipo Pinto Recodo (a_1) con densidades de siembra de $1667 \text{ plantas. ha}^{-1}$ (d_1), 1111 pl. ha^{-1} (d_3) y $952 \text{ plantas. ha}^{-1}$ (d_4), en el carácter de rendimiento de semillas de sachá inchi.

Del Cuadro 33, se deduce que existe diferencia significativa entre los dos ecotipos estudiados siendo el ecotipo Alto Mayo (a_2) superior en el carácter de rendimiento de semillas de sachá inchi alcanzando en promedio $0.966 \text{ tC. ha}^{-1}$. Respecto al ecotipo Pinto Recodo (a_1) el rendimiento en semillas fue inferior obteniendo solo $0.451 \text{ tC. ha}^{-1}$. El Cuadro 34, nos muestra la descripción del análisis del rendimiento de semillas para cada combinación.

Cuadro 33. Prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$), para el efecto principal de ecotipos (A) en el rendimiento *Plukenetia volubilis* L.

Ecotipo	Rendimiento de semillas (t. ha^{-1})	
Pinto Recodo (a_1)	0.45186	b
Alto Mayo (a_2)	0.96668	a

En el Cuadro 34 listan el rendimiento de semillas de sachá inchi de cada tratamiento (combinación). También se señalan el valor de la producción, costo de producción, utilidad neta y el índice de rentabilidad. Se determinación de la utilidad se ha utilizado un valor de venta de la semilla con precio en chacra de 6.50 soles.

Cuadro 34. Rendimiento en semillas limpias de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., a cuatro densidades de siembra.

Tratamiento	Rendimiento de semillas de sachá inchi				
	Rdto. de semillas de sachá inchi (t.ha ⁻¹)	Valor de producción (Soles.ha ⁻¹) ^{1/}	Costo de producción (Soles.ha ⁻¹)	Rdto. Neto (Soles.ha ⁻¹)	Índice de rentabilidad (%)
T ₁ (Ecotipo Pinto Recodo, con 1667 pl.ha ⁻¹)	0.45	2921.6	2752.28	169.32	6.15
T ₂ (Ecotipo Pinto Recodo, con 1333 pl.ha ⁻¹)	0.58	3765.46	2200.83	1564.63	71.09
T ₃ (Ecotipo Pinto Recodo, con 1111 pl.ha ⁻¹)	0.49	3179.59	1834.3	1345.29	73.34
T ₄ (Ecotipo Pinto Recodo, con 952 pl.ha ⁻¹)	0.29	1881.75	1571.79	309.96	19.72
T ₅ (Ecotipo Alto Mayo, con 1667 pl.ha ⁻¹)	1.07	6983.71	2752.28	4231.43	153.74
T ₆ (Ecotipo Alto Mayo, con 1333 pl.ha ⁻¹)	0.57	3730.15	2200.83	1529.32	69.49
T ₇ (Ecotipo Alto Mayo, con 1111 pl.ha ⁻¹)	0.95	6150.51	1834.30	4316.21	235.31
T ₈ (Ecotipo Alto Mayo, con 952 pl.ha ⁻¹)	1.27	8269.25	1571.79	6697.47	426.11

Nota: Precio de venta kilogramo de semilla en chacra (S/.): 6.50 (noviembre 2008).

El rendimiento corresponde a todas las cosechas realizadas hasta 12 meses de edad.

V. DISCUSIÓN

5.1. Del carbono secuestrado en biomasa de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalados a cuatro densidades de siembra.

En el experimento llamó la atención la nula diferenciación del carbono secuestrado en biomasa y suelo de los ecotipos de sacha inchi: a_1 =Pinto Recodo y a_2 =Alto Mayo emplazadas con arreglo factorial a cuatro densidades de siembra (factor D): $d_1=1667 \text{ pl.ha}^{-1}$, $d_2=1333 \text{ pl.ha}^{-1}$, $d_3=1111 \text{ pl.ha}^{-1}$ y $d_4=952 \text{ pl.ha}^{-1}$. Sin embargo, la densidad de siembra si afectó significativamente la cantidad de carbono secuestrado en biomasa para los mismos ecotipos según análisis de varianza (Cuadro 22).

La valoración del análisis estadístico devela que los ecotipos probados no se diferenciaron en la producción de biomasa, por tanto fue indistinto su capacidad de secuestrar carbono. La distribución geográfica y los factores climáticos podrían haber sumado efectos sobre la nula diferenciación de la capacidad de secuestro de carbono en los ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo. Si consideramos el rango natural de la distribución de *Plukenetia volubilis* L, observamos la mayoría de investigaciones confluyen en sostener que la especie está presente mayormente de forma nativa en la región San Martín y Ucayali (RANGEL, 2009; ARÉVALO, 2008) y en Selva Central (AGUILAR *et al.*, 2009). Reportes que señalen a las provincias de región Huánuco como ámbitos de distribución natural de sacha inchi son casi nulos, especialmente para la provincia de Leoncio Prado. Dicho esto, es válido sostener que las condiciones climáticas imperantes en la zona del experimento no fueron las adecuadas lo que implicó una baja respuesta a nivel de productividad de los ecotipos evaluados.

De lo señalado anteriormente, se conoce el nivel de precipitación y la temperatura determinan las condiciones climáticas de todo ecosistema terrestre. Con esto podemos suponer que el nivel de lluvias y la temperatura juegan un rol importante para el cultivo de sacha inchi (Gómez, 2005 citado por RANGEL, 2009).

Con relación a la temperatura, si bien es remota la especificidad del tema, referencias señalan amplios rangos entre 10 - 36 °C y óptimos medios de 26 °C (MANCO, 2006). Durante el experimento la temperatura máxima fue de 30.96 °C como promedio y picos de 32.00 °C para el mes de setiembre 2007 y 33.00 °C en enero 2008 (Figura 2). Los valores descritos están por debajo de los 38.9 °C para Tarapoto y 36.6 °C para Pachiza donde se reportó óptimo comportamiento del sachá inchi (ARÉVALO, 2008). Si bien quedan cortos los elementos del experimento (por su naturaleza y duración) para afirmar categóricamente la influencia de la temperatura, podemos afirmar que si existió influencia, mostrando nula diferenciación en la productividad de los ecotipos en biomasa y por tanto en carbono secuestrado.

Las precipitaciones fueron mínimas durante la etapa de cosecha (Figura 2), por lo que afectó negativamente la producción de biomasa de sachá inchi en ambos ecotipos. En la zona del experimento las bajas precipitaciones inician en el mes de abril y se extienden al mes de septiembre 2008. La baja humedad del suelo resultado de la precipitación mínima y temperaturas elevadas sin duda afectan la fisiología del cultivo por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez *et al.*, 2003 citado por KANNINEN, 2001). Remitiéndonos al aspecto fisiológico de manera general se conoce que las plantas C-3 son latifoliadas, y las gramíneas representan las plantas C-4 (gramíneas). Ambas difieren en capacidad de responder al nivel de agua y temperatura en niveles críticos. Aunque no hay referencias que señalen al sachá inchi como planta dentro del grupo C-3, ateniéndonos a la morfología de sus hojas acorazonadas, aseruladas y pinnitinervias (DOSTER *et al.*, 2009) podemos categorizarla como planta C-3. De lo establecido es importante señalar que la eficiencia en el uso de agua y fijación de CO₂ de este tipo de plantas es limitada cuando existen condiciones críticas de humedad y temperatura (BIDWELL, 1979). Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis (Fith *et al.*, citado por BIDWELL, 1979). Lo manifestado pudo influir en la baja productividad de

biomasa de los ecotipos, pues como ya se señaló la temperatura y el nivel de precipitación fueron mínimos en la etapa productiva del sachá inchi durante el experimento. Ampliando el análisis, podemos también suponer que los ecotipos responden de manera muy específica a las condiciones climáticas, esto se evidencia con el trabajo de HAROLDO (2009) quien describió 16 bandas polimorfas para un total de 37 accesiones provenientes de la zona de Pucallpa.

Respecto al factor densidad de siembra, dado su efecto significativo, partiríamos de la idea que el carbono constituye casi el 50.0% (IPCC) de la biomasa seca de cualquier vegetal leñoso o intermedio, podemos tener una idea que la capacidad de secuestrar carbono de cualquier cultivo estará directamente relacionado con la cantidad de biomasa que pueda albergar por unidad de superficie, consecuentemente siendo la densidad de siembra su indicador. Pero, en este caso hay que considerar que no siempre un número elevado de plantas por unidad de superficie redundará en una mayor producción de biomasa, existe un límite a razón de la característica de cada especie, intensidad de manejo, y fertilidad del suelo. De acuerdo al Cuadro 23, respecto a la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para el estudio de efectos simples, se encontró en el experimento que el ecotipo Alto Mayo (a_2) bajo el efecto de la densidad de 1667 pl.ha⁻¹ (d_1) resultó ser superior a las demás combinaciones, ocupando el último lugar el ecotipo Pinto Recodo (a_2) con una densidad de 952 pl.ha⁻¹ (d_4), en el secuestro de carbono en hoja y tallo. Sin embargo, el ecotipo Alto Mayo (a_2) bajo el efecto de la densidad de 1667 pl.ha⁻¹ (d_1) resultó ser superior a las demás combinaciones, ocupando el último lugar el ecotipo Pinto Recodo (a_2) con una densidad de siembra de 952 pl.ha⁻¹ (d_4), en el secuestro de carbono en fruto de sachá inchi. De modo diferente, en el secuestro de carbono en raíz de sachá inchi, de manera que el ecotipo Pinto Recodo (a_1) con una densidad de siembra de 1667 pl.ha⁻¹ (d_1), supera significativamente a las demás combinaciones, ocupando el último lugar el ecotipo Pinto Recodo (a_1) con una densidad de siembra de 952 pl.ha⁻¹ (d_4). Del Cuadro 24, en relación a la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) en el experimento para el efecto principal de ecotipos, en el secuestro de

carbono en tallo, fruto y raíz, se encontró que el ecotipo Pinto recodo (a_1) con 1035.57, 285.00 y 144.74 Kg C en tallo, fruto, raíz/ha respectivamente es superior a Alto Mayo (a_2) con 1015.94, 283.99 y 137.13 Kg C en tallo, fruto, raíz/ha respectivamente. Sin embargo, el ecotipo Alto Mayo (a_2) supera en el carácter secuestro de carbono en hoja de sachá inchi con 419.97 Kg C en hoja/ha es superior a Pinto Recodo (a_1) con 416.52 Kg C en hoja/ha.

Los valores obtenidos de los dos ecotipos estudiados (Pinto Recodo y Alto Mayo) están relacionados a la respuesta de la densidad empleada, concordando en parte lo señalado por ARÉVALO (2008), quien publicita una mayor productividad a un menor distanciamiento (Cuadro 7). De manera similar, si compramos el carbono secuestrado en ecosistemas naturales, se pone en manifiesto que a mayor frondosidad (densidad) más será la cantidad de carbono almacenado (ALEGRE *et al.*, 2000). Esto es más manifiesto en cultivos, demostrándose para algunos casos como el maíz que es tal vez el más representativo el estudio del impacto de la densidad de siembra en la productividad del cultivo. Según CIRILO (2009) la densidad de plantas y la distancia entre surcos tiene importante efectos sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de maíz. GRIJALVA *et al.* (2006) también homologaron esta respuesta para el rendimiento de tomate bola al incrementar la densidad de plantación. Por su parte, GONZÁLEZ *et al.* (2011) con distintas densidades de cacao encontraron influencia en los rendimientos, concluyendo que a partir del tercer año, la densidad 1100 pl.ha⁻¹ de cacao, independiente de la arquitectura, produce mayores rendimientos (3933 kg.ha⁻¹ en promedio). Refiriéndose al tema, ALCÁZAR (2010) sostiene que la densidad poblacional tiene influencia sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de plátano con rangos de 1500 pl.ha⁻¹ del cual se obtuvo 22.4 t.ha⁻¹ hasta densidades de 3000 pl.ha⁻¹ del cual se obtuvo 40.5 t.ha⁻¹. En la misma especie SMITH *et al.* (2010) determinaron que conforme la densidad de plantas aumentó, la altura del pseudotallo ($p=0,0001$) y la cantidad de días de la siembra a la cosecha ($p=0,0263$) aumentaron. La densidad de plantas no afectó la circunferencia del pseudotallo ni el número de hojas a la floración. En

el café también el comportamiento es linealmente ascendente respecto a la densidad y su respuesta en la producción, encontrándose que respuesta lineal al rendimiento de las plantas de café con un aumento del 16% por cada 0.5 m en la reducción de la distancia (PÉREZ y GUTIÉRREZ, 1978).

Añadiendo otras consideraciones, resulta lógico suponer que en los ecosistemas naturales la cantidad de carbono que secuestra es el resultado de la densidad que puede albergar el sitio. En ese sentido, los valores obtenidos de los dos ecotipos estudiados están relacionados a la respuesta de la densidad empleada, concordando en parte lo señalado por PALM *et al.* (2005), quien menciona que el carbono de la superficie terrestre difiere entre los sistemas de uso de la tierra, la misma que está sujeto a la densidad de siembra baja y poda intensiva. De manera similar, ROJAS (2005), menciona que el carbono almacenado en la parte aérea depende de la densidad, de la especie y de la edad de la plantación.

Considerando las observaciones realizadas en campo se dice que a mayores densidades existe mayor secuestro de carbono, tanto para hojas, tallo, fruto y raíces del cultivo, debido a la biomasa aérea y radicular, influenciado por ciertos aspectos de condiciones que se ha mencionado párrafos anteriores como la densidad de siembra, especie de planta, edad de la plantación, competencia por nutrientes, luz, agua, etc. Sin embargo, es notorio la mayor cantidad de secuestro de carbono para los tallos a nivel del ecotipo Alto Mayo con densidad de siembra de 1667 pl.ha⁻¹. Mientras que con densidades bajas ocurre lo contrario, coincidiendo en parte con lo mencionado por HERRERA (2007), donde menciona que a mayor edad de la plantación, existe mayor acumulación del carbono atmosférico ya que las especies arbóreas y arbustivas son mayores responsables del secuestro de carbono. Similar a lo encontrado por CALLO *et al.* (2001), quien establece que fijan más carbono los bosques secundarios y plantaciones jóvenes que los bosques primarios y/o maduros. Los primarios han alcanzado su clímax y "congelado" su capacidad de conversión de carbono atmosférico a biomasa, mientras que

los secundarios, intensifican los procesos de secuestro y liberación, por la aceleración y secuencialidad de sus ciclos. Por otro lado, el ecotipo Pinto Recodo con densidad de siembra de 1667 pl.ha⁻¹ supero a las demás densidades en cuanto al secuestro de carbono. Debiéndose a que las raíces pueden agregar cantidades grandes de C porque ellos son leñosos que las podas del follaje y tiene más C en los compuestos estables. Asimismo, las raíces pueden proporcionar C más estable a la tierra tal como lo menciona MAKUMBA *et al.* (2005). Sin embargo, las raíces están sujetos a la disponibilidad de agua y nutrientes que fijan la mayor concentración del sistema radicular en los primeros horizontes del suelo. Por lo que se puede suponer que hay poca competencia por recursos del suelo por las raíces de los árboles. De manera que ROJAS (2005), determina que la capacidad de acumular carbono en las raíces se incrementa con la edad, representando un sumidero de C de importancia a largo plazo. De manera que en los sistemas agroforestales las raíces comprenden hasta el 30% de la biomasa total del árbol, y por ello es importante su determinación como reservorio de C debajo del suelo (ROJAS, 2005).

Finalmente, los procesos que absorción por parte de las plantas se hacen a través de la región líquida que circunda a las células radiculares y que contiene compuestos carbónicos disueltos; por ello, la producción de biomasa depende de la disponibilidad de compuestos disueltos en esta región líquida. La captura de carbono se refiere al almacenamiento de carbono en forma sólida y estable. Esto puede suceder a través de la fijación directa o indirecta del CO₂ atmosférico. En las plantas, la captura de carbono en forma directa se presenta a través de la fotosíntesis que convierte el CO₂ en biomasa. En primera instancia pareciera que el proceso más importante es la forestación por el incremento de la masa vegetal, ya que integra alrededor del 90% de la captación de carbono, mientras sólo el 10% se acumula en el suelo; sin embargo, la acumulación en vegetación es resultado del incremento en raíces y follaje principalmente (DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE CARBONO Y CAPTURA POTENCIAL, 2008).

5.2. Del carbono en el suelo en dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalados a cuatro densidades de siembra

Según los resultados, el carbono en el suelo del cultivo de sachá inchi no mostró diferencias estadísticas a 12 meses de evaluación tras la siembra. Fueron no significativos todas las fuentes de variación. Las combinaciones (tratamientos), el efecto del ecotipo Pinto Recodo (a_1), efecto del ecotipo Alto Mayo (a_2), el efecto de la densidad de siembra, y el efecto de interacción ecotipo (A) x densidad de siembra (D), para las tres profundidades de evaluación: 0 - 20 cm, 20 - 40 cm y 40 - 60 cm (Cuadro 26).

Son múltiples los factores que pueden afectar la incorporación del carbono al suelo. No obstante, en ocasiones la excesiva variabilidad de los datos pueden dar sombra a una adecuada interpretación de los resultados. Remitiéndonos al coeficiente de variación para los tres niveles de profundidad notamos alta variabilidad de las observaciones CV de 0-20 cm 25.99%, CV de 20-40 cm 32.90% y 40-60 cm 66.08%. Tener en cuenta estos valores es importante, ya que intuitivamente era factible esperar diferencias significativas para el carbono en el suelo al menos respecto al factor densidad de siembra, porque supone lógico esperar a más individuos por área se espera también que a nivel de suelo el carbono secuestrado sea mayor. No obstante la alta variabilidad no permitió discriminar esta situación.

Apelando a un análisis más profundo podemos anotar los siguientes aspectos. El análisis de suelo de partida (Cuadro 15) realizado al iniciar el experimento mostro que los niveles de CaCO_3 y materia orgánica fueron mínimos. Lo anterior resulta obvio si tomamos en cuenta el antecedente de uso del suelo. En los pastizales de corte es común que la materia orgánica se vea reducido a su menor valor. El suceso a explicar es sencillo, pues la fuente de materia orgánica del suelo depende de los restos vegetales y animales que se incorporan al suelo. Con el corte de pastos esta situación de reciclaje de la materia orgánica se limita, y cada vez va en decremento. En línea con lo mencionado, con la escasa incorporación de restos vegetales en el suelo, la

actividad microbiana también se ve afectada, pues se debe tener en cuenta que la cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica, (BLACK, 1975). Si de condiciones de suelo se trata, la productividad de cualquier cultivo depende la fertilidad, medidos en relación a las cantidades de macronutrientes N, P y K. En el análisis de partida (Cuadro 1) del suelo todos los elementos fueron deficientes, el N con 0.14 el P con 8.20 ppm y el K con 338 ppm. Con todo esto, es justo establecer que en el experimento el *sacha inchi* no podría aumentar significativamente carbono en el suelo. La razón que estriba sobre este hecho fue una baja fertilidad que no permitió un adecuado desarrollo vegetativo del cultivo, por tanto el reciclaje de restos vegetales ha sido mínimo, con poca formación de materia orgánica. Sin embargo, la argumentación contradice a lo reportado para pasturas mejoradas en áreas deforestadas que según De Camargo *et al.* (1999) citado por BOTERO (2001) provocó incrementos en la acumulación de carbono orgánico. Otro dato importante, la edad de la población de *sacha inchi*. La evaluación del contenido del carbono en el suelo se realizó a 12 meses (solo 1 año) tiempo al parecer muy corto para que el sistema de reciclaje de materia orgánica se manifieste positivamente o en sentido contrario. Lo señalado parece no guardar relación con lo descrito por BERTHONGARAY (2007) quien indicó que la cantidad de carbono en el suelo tiene una movilización muy dinámica en etapas iniciales del cambio de uso de suelo. Pero, si se ajusta más a quien sentenció que cuando la vegetación natural se pone bajo cultivo, el contenido de materia orgánica decrece. Esa disminución es rápida durante los primeros años y luego se hace más lenta tendiendo a un equilibrio (Houghton *et al.*, 1983 citado por BERTHONGARAY, 2007).

Estudios ya advirtieron que los flujos de carbono en el suelo pueden tener rangos de permanencia de unos pocos minutos hasta milenios (KASTING y WALKER, 1992). En términos comparativos, podemos afirmar que los procesos de incorporación de los restos vegetales de las podas y aquellos provenientes de las labores de deshierbas se incorporan al suelo en un proceso de humificación y mineralización (VERHULST *et al.* (2004).

Sin duda otro aspecto a poner en consideración es la relación de carbono nitrógeno (C:N) presente en el suelo. Así, ya BLACK (1975) sostuvo que la relación C:N en el suelo mide la rapidez con la que se descompone la materia orgánica y su riqueza en nitrógeno. Debido a esto se ha determinado que cuando la relación C:N es alta significa que hay mucha energía y poco nitrógeno; por tanto prácticamente todo el N liberado es tomado por los microorganismos del suelo, quedando muy poco libre para ser utilizado por las plantas. Cuando la relación es inversa una parte del N liberado es tomado por los microorganismos y el resto es incorporado al suelo y puede ser absorbido por las plantas. En este proceso, algo del carbono orgánico es usado para el crecimiento y mantenimiento, mientras que el resto se respira como CO₂ y regresa a la atmósfera (BALESDENT *et al.*, 2000).

Dube *et al.*, citado por ARAUJO (2006) en la cual se mencionan que la materia orgánica en sentido vertical tiene parámetro semejante en la mayoría de suelos, independiente al uso a que está sometido, es decir a mayor profundidad menos carbono, estando en los primeros centímetros la mayor concentración. Asimismo, la formación de complejos estables entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido y tipo de arcillas en el suelo. Suelo arenosos (sílices) y las arcillas caoliníticas carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica, y es imposible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos. Además existen otros factores limitantes como el contenido de humedad y ciertos nutrientes. El nutriente indispensable para este proceso es el nitrógeno; por tanto, el aumento de la productividad de la vegetación cambia la dinámica geoquímica del suelo, demandando, entre otros elementos, nitrógeno y el déficit de éste es determinante para la captación del carbono en el suelo.

Si consideramos los aspectos climáticos en el proceso de incorporación de carbono al suelo, a razón de ARAUJO (2006), podemos sostener que la escasa precipitación afecto su movilización. De los datos obtenidos de la Figura 2 también evidenciamos que las lluvias fueron mínimas por un periodo de 4-5 meses a partir de mayo 2008. Si bien altas temperaturas pueden promover los procesos de descomposición esta se ve limitada cuando el nivel de humedad

es bajo. Lo asumido se evidencia gracias a evaluaciones realizadas por BERTILLER *et al.* (2006) quienes pusieron en evidencia también que el carbono orgánico total se incrementa con las precipitaciones en ecosistemas patagónicos. La temperatura podría considerarse otro factor relevante en la movilización de carbono en el suelo, sin embargo, algunos estudios muestran que la cobertura de la vegetación suele controlarla, regulando las temperatura media y/o la amplitud térmica de los suelos (ARAUJO, 2006).

De esto se deduce que los valores de carbono en el suelo de los dos ecotipos estudiados están relacionados a la respuesta de la densidad empleada, en cuanto a las profundidades de secuestro de carbono, coincidiendo en parte con PALM *et al.* (2005), quien menciona que el carbono en la tierra difiere entre los sistemas de producción. Es así que el carbono de los sistemas rotatorios, dependen de muchos factores, incluyendo densidades de siembra, tiempo de rotación, y factores del manejo. De ahí la importancia de la rotación de los cultivos por restituir el carbón al suelo, contrario a las pérdidas de carbón de la tierra en la profundidad con la conversión de bosque a otros sistemas. Para ello se debe tener en cuenta lo sostenido por la FAO (2001), en la que dice que los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica, la misma que concierne a la vegetación el ingreso de residuos, composición de las plantas, los factores climáticos, condiciones de temperatura y humedad, las propiedades del suelo, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez. Asimismo, otros factores relacionados con la fertilización del suelo (N, P o S), tienen efecto sobre la producción de las plantas y por lo tanto sobre el contenido de materia orgánica. La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende sobre todo de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno, drenaje, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos.

Sobre la distribución vertical de carbono en el suelo tocado en párrafos anteriores, investigaciones de MAKUMBA *et al.* (2005) son consistentes con respecto a la mayor concentración de carbono en las primeros centímetros de suelo, así los autores encontraron un aumento global de carbono orgánico de la

tierra en el mantillo de 0 – 20 cm., de profundidad; además de los materiales orgánicos aplicados, el aumento neto podría atribuirse a la biomasa bajo suelo. Coincidiendo con el experimento, en la que se ha determinado el carbono a tres profundidades de suelo y esto a su vez ha ido disminuyendo a medida que se va profundizando la evaluación. De ahí que STEINBACH y ÁLVAREZ (2008), dice que el incremento en el stock de C no se relaciona con los años de duración de los experimentos, la rotación, la textura del suelo, o la precipitación y temperatura media anual de los sitios de ensayo. De manera que en suelos con bajos niveles de C, se espera aumentos de hasta un 15% por cambio a siembra directa, mientras que en suelos ricos en C el incremento rondaría el 5%. Tomando en cuenta lo mencionado, el impacto de la introducción de siembra directa sobre el contenido de carbono del suelo es pequeño y a que no hay homogeneidad de otras condiciones edafológicas por lo que se confunde con los efectos de otros factores que hacen variar el nivel de carbono del suelo.

La diferencia en las concentraciones de carbono en el suelo en las tres profundidades, sobre esta consideración se puede tener en cuenta el no uso de fuego para controlar malezas, rebrotes que contribuyen en el incremento de la cantidad de C estable en el suelo. Ciertas especies en ecosistemas con limitantes de ciertas condiciones como la disponibilidad de agua que permite la concentración del sistema radicular en los primeros horizontes del suelo. De manera que hay poca competencia por recursos en el perfil del suelo entre las raíces de las plantas, tal como se coincide con lo indicado por ROJAS (2005).

Con respecto al almacenamiento del carbono a nivel del suelo, está en función a varios factores: formación del suelo pudiendo ser fuertemente modificados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra. De manera que la influencia de las condiciones edáficas (suelos degradados o fértiles), manejo de la plantación e historial de campo, los cuales son factores que influyen en la acumulación final de carbono a nivel aéreo y edáfico. La acumulación de carbono a nivel del suelo está sujeto a factores que influyen en la cubierta de la tierra y el uso de esta, ya que la cantidad de carbono almacenado en un sitio

dado depende del clima (precipitación y temperatura), las condiciones del suelo y las actividades humanas desarrolladas HERRERA (2007). Sin embargo, un estudio realizado por CALLO *et al.* (2001), menciona que los bosques secundarios desarrollan más biomasa radicular que las plantaciones a profundidades superiores a un metro, los suelos forestales contienen más carbono que biomasa aérea, el 15% de este carbono se recicla en períodos de varios años hasta décadas. Aún cuando se afirma que en los trópicos subhúmedos el potencial de secuestro de carbono es sobre el suelo y no en él, con lo que coincide con el experimento desarrollado dentro de las condiciones del trópico húmedo. Todo esto sumado a lo mencionado por la DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE CARBONO Y CAPTURA POTENCIAL (2008), los procesos de conversión entre las formas gaseosas y otras formas de carbono soluble dependen de características como el pH y el contenido de agua del suelo. De manera que la captura de carbono en forma directa se presenta a partir de reacciones químicas que convierten el CO₂ en compuestos inorgánicos de carbono tales como carbonatos de calcio y magnesio, que lógicamente están influenciados por las condiciones edafológicas.

Frente a la variabilidad de las concentraciones de carbono en el suelo a diferentes profundidades encontradas en este experimento, está relacionado a lo manifestado por DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE CARBONO Y CAPTURA POTENCIAL (2008), en la cual se menciona que los procesos geoquímicos en que se desarrollan, aún no se establecen totalmente y su dinámica está parcialmente explicada, además la variabilidad del almacenamiento de C es muy grande debido a diferencias de densidad y tipo de suelo. Asimismo, la formación de complejos estables entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido y tipo de arcillas en el suelo. Suelo arenosos (sílices) y las arcillas caoliníticas carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica, y es imposible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos. Además existen otros factores limitantes como el contenido de humedad y ciertos nutrientes. El nutriente indispensable

para este proceso es el nitrógeno; por tanto, el aumento de la productividad de la vegetación cambia la dinámica geoquímica del suelo, demandando, entre otros elementos, nitrógeno y el déficit de éste es determinante para la captación del carbono en el suelo.

5.3. Del rendimiento en semilla de dos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., instalados a cuatro densidades de siembra.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, el rendimiento total de sachá inchi, depende de diversos factores, es así que el ecotipo Alto Mayo (a_2) con una densidad de 952 pl.ha^{-1} , alcanzó una producción de $1.27219 \text{ t.ha}^{-1}$, el mismo que fue superior a las demás combinaciones. Por otra parte el ecotipo Pinto Recodo (a_1), con una densidad de 952 pl.ha^{-1} (d_4) ocupó el último lugar con un rendimiento de $0.28950 \text{ t.ha}^{-1}$, al compararse los rendimientos obtenidos por los ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo, se encontró que estarían dentro del margen aceptable del rendimiento; por que la menor densidad de plantas (952 pl.ha^{-1}) está dentro del parámetro establecido por investigadores en cuanto a rendimientos reportados de $0.25\text{-}0.6 \text{ t.ha}^{-1}$ para el año 1, de $1.0\text{-}1.7 \text{ t.ha}^{-1}$ para el año 2 y $1.2\text{-}0.2 \text{ t.ha}^{-1}$ para el año 3 en rendimiento de semillas secas para diferentes ecotipos (ARÉVALO, 2008). De los resultados del Cuadro 33 podemos mencionar que el efecto principal de los ecotipos han sido contrastantes. Estos resultados sugieren que la diferencia de rendimientos están asociados a su potencial de rendimiento o a la expresión de cada uno de los genes relacionados al rendimiento en interacción con las condiciones edafológicas y climáticas (MANCO, 2006). En cuanto al rendimiento específico con tutores vivos, trabajos ejecutados en la Estación Experimental el Porvenir de Tarapoto, ARÉVALO (2008) ha reportado que a densidad de $3.0 \times 3.0 \text{ m}$ (1111 pl.ha^{-1}) el rendimiento en semillas secas al año 1 fue de 0.25 t.ha^{-1} , con una densidad de $3.0 \times 2.5 \text{ m}$ (825 pl.ha^{-1}) el rendimiento en semillas secas al año 1 fue de 0.3 t.ha^{-1} estando por debajo a los resultados obtenidos en el experimento (Cuadro 32), no obstante se mantiene la tendencia establecida, es decir a mayor densidad mayor rendimiento. De lo anterior bien podemos sostener que la densidad de siembra (D) afecta positivamente el rendimiento, se aprecia que a mayor número de

plantas, se obtiene mayor cantidad de semillas, mientras que a menor número de plantas el rendimiento se reduce esto es corroborado de acuerdo a nuestros resultados del Cuadro 32. Lo obtenido se asemeja a lo informado para otros cultivos donde la densidad de siembra establece una relación lineal positiva respecto al rendimiento observado en maíz (CIRILO, 2009), en tomate (GRIJALVA *et al.*, 2006), en cacao (GONZÁLEZ *et al.*, 2011), en plátano (ALCÁZAR, 2010), en café (PÉREZ y GUTIÉRREZ, 1978).

Por último, el efecto principal del ecotipo Alto Mayo resulta ser superior con un rendimiento en semillas de 0.966 t.ha⁻¹ evaluadas a 12 meses de edad. El ecotipo Pinto Recodo solo alcanza en semillas 0.451 t.ha⁻¹ conforme la prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$) representado en el Cuadro 33. Lo señalado sugiere que el ecotipo Alto Mayo se ha “adaptado” mejor a las condiciones climáticas de Tingo María, expresando mejor su potencial productivo. Sin embargo lo afirmado puede considerarse solo una aproximación por el corto tiempo del experimento y la poca muestra representativa que significa.

Estos resultados sugieren que la diferencia de rendimientos están asociados a su potencial de rendimiento o a la expresión de cada uno de los genes relacionados al rendimiento en interacción con las condiciones edafológicas (FLORES, 1997). Coincidiendo en parte con el estudio comparativo de rendimiento de ocho cultivares de cocona (*Solanum tojiro* H.B.T.) en Tulumayo realizado por GÓMEZ (1997), donde el rendimiento mayor se atribuye a sus características de ser genotipo con amplio rango de adaptabilidad y su comportamiento genético propio en cuanto a su capacidad productiva, comparada bajo una misma condición edafológica con los demás cultivares.

De la densidad de siembra (D) se aprecia que a menor número de plantas, se obtiene mayor rendimiento, mientras que a mayor número de plantas el rendimiento se reduce esto es corroborado de acuerdo a nuestros resultados (Cuadro 32). Pero además estos resultados, demuestran que los

distanciamientos a que se ubica cualquier planta está supeditado a la naturaleza del cultivo, variedad cultivada, clima, tipo de suelo, fertilidad del suelo, grado de mecanización que se obtendrá, pendiente, etc. De manera que se corrobora con LOLLATO (1982) en su trabajo de investigación “Estudio de los efectos de las distancias entre hileras y densidades de siembra en la calidad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)”, afirma que a menor distanciamiento de siembra, disminuye el peso individual de las semillas y a mayor espaciamiento se obtiene mayor peso de semillas. El bajo peso de las semillas, debido a la competencia de nutrientes, temperatura, luz, humedad del suelo y agua, reflejada en plantas desnutridas y menos desarrolladas, preparados fisiológicamente para una menor carga productiva.

VI. CONCLUSIONES

1. La cantidad de carbono secuestrado en biomasa de hoja, tallo, fruto y raíz de *Plukenetia volubilis* L., no es diferenciable para los ecotipos Pinto Recodo y Alto Mayo a 12 meses de evaluación. Sin embargo, la densidad de siembra sí influye significativamente, siendo la densidad de 1666 pl.ha⁻¹ con el ecotipo Pinto Recodo la combinación con mayor cantidad de carbono secuestrado, logrando 2.47 tC.ha⁻¹. El peor resultado se obtiene para el ecotipo Pinto Recodo a 952 pl.ha⁻¹ logrando secuestrar solo 1.38 tC.ha⁻¹ de carbono en biomasa de sachá inchi.
2. No es significativa la diferencia del carbono en el suelo a profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm para el efecto del ecotipo Pinto Recodo en comparación con el ecotipo Alto Mayo. Asimismo, para las mismas profundidades de suelo, tampoco la densidad de siembra influye en la cantidad de carbono secuestrado a 12 meses tras la siembra. No obstante, se encontró mayor cantidad de carbono en el suelo a profundidad de 0-20 cm con rangos de 67.56-50.88 tC.ha⁻¹, de 20-40 cm rangos de 43.8-25.8 tC.ha⁻¹ y de 40-60 cm rangos de 33.12-13.80 tC.ha⁻¹ para el mismo periodo de evaluación en el cultivo de sachá inchi.
3. El ecotipo Alto Mayo con una densidad de 952 pl.ha⁻¹ resultó ser superior a las demás combinaciones con un rendimiento de semillas de 0.42 t.ha⁻¹, quedando en el último lugar el ecotipo Pinto Recodo con una densidad de siembra de 952 pl.ha⁻¹ y un rendimiento de 0.096 t.ha⁻¹.

VII. RECOMENDACIONES

1. En trabajos similares al presente experimento se debe tomar en cuenta evaluaciones mayores a partir del segundo año, desde la siembra para obtener la diferenciación en la captura de carbono a nivel del suelo.
2. Para la siembra primero se debe realizar en vivero en los meses entre agosto a septiembre para un mejor control en la producción de plántones de sachá inchi. La siembra en campo definitivo se debe realizar desde septiembre hasta abril para aprovechar las lluvias y en terrenos con ligera pendiente para evitar el exceso de humedad y prevenir enfermedades fúngicas.
3. Realizar otros trabajos de investigación con otros ecotipos de sachá inchi que sean promisorios con altos contenidos de aceites omega 3, 6 y 9, para así obtener plantas que mejor respondan a condiciones de Tingo María.
4. En trabajos similares al presente experimento se debe tomar en cuenta otros métodos de evaluación de carbono, tanto para la parte vegetal como a nivel del suelo y que sean comparativos con el método utilizado para el presente trabajo de investigación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, C.; CASTRO, F.; SOTELO, E. 2009. Protocolo del cultivo de *Plukenetia volubilis* L., en la cuenca del Perené. La Merced, Perú. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo CIED Selva Central. 86 p.
- ALCÁZAR, S. 2010. El cultivo de plátano en altas densidades de siembra, una nueva concepción tecnológica de producción. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Programa de Plátano, Armería, Quindío, Colombia. [En línea]: (<http://.ica.gov.co/eventos/memorias>, 05 Abr. 2011).
- ALEGRE, J.; ARÉVALO, L.; RICSE, A. 2000. Reservas de Carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. Taller Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO. Roma, Italia. p. 11-14.
- ANDRADE, L. 2009. Manual de producción de sacha inchi para el bio comercio y agroforestería sostenible. Proyecto Perú Biodiverso. Lima, Perú. 52 p.
- ARAUJO, P. 2006. Impactos de las plantaciones de pino sobre el ciclo de carbono a lo largo de un gradiente de precipitaciones en la Patagonia, Argentina. Tesis M.Sc. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. [En línea]: (<http://www.uba.ar/elineapub>, 10 dic. 2011).
- ARAUJO, T.; HIGUCHI, N.; DE CARVALHO, J. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state Brazil. *Forest Ecology and Management*, Curitiba. 117: 43-52.
- ARÉVALO, G. 2008. El cultivo del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la amazonia peruana. Instituto Nacional de Investigación Agraria INIA, Estación Experimental El Porvenir. Tarapoto, Perú. 29 p.

- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: p. 215-220.
- BARDALES, R.; GARCÍA, E.; PANDURO, H. 2008. Respuestas de diversos ecotipos de *Plukenetia volubilis* L., al daño de nematodos en condiciones de vivero en Tarapoto, Perú. UNSM [En línea]: (<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream>, 10 Abr. 2009).
- BARTRA, J. 2006. Dosis de ácido-3-indolbutírico en el enraizamiento de estacas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en diferentes sustratos. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. 123 p.
- BERHONGARAY, G. 2007. Carbono en suelos pamapeano, efectos de la vegetación y el suelo. Tesis M.Sc. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. [En línea]: (<http://www.uba.ar/elineapub>, 10 abr. 2011).
- BERTILLER, M.; MILLER, R.; HOBLE, M. 2006. Leaf strategies and soil N across regional humidity gradient in Patagonia. *Oecologia*. 148:612-624.
- BETANCOURTH, C. 2009. Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante extracción por solventes de su aceite. Tesis M.Sc. Manizales, Colombia. Universidad Manizales. 82 p.
- BIDWELL, J. 1979. Fisiología Vegetal, 1era. edición en España AGT Editor S. A., México. 655 p.
- BLACK, C. 1975. Relaciones suelo-planta, tomo II. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 316-318 pp.
- BORBOR, M. 2009. Estudio de la ploidía en *Plukenetia volubilis* L., (sachá inchi). Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. Tarapoto, Perú. 123 p.

- BOTERO, J. 2001. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. Taller Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO. Roma, Italia. p. 6-9.
- CACHIQUE, D. y RUIZ, H. 2008. Establecimiento y monitoreo del huerto clonal de sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) propagadas mediante estacas juveniles. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana IIAP, Memorias 2009. Iquitos, Perú. 10 p.
- CACHIQUE, D. 2006. Sistema de producción y mejoramiento genético de sachá inchi en San Martín. Memoria Institucional. Programa de Investigación en Ecosistemas Terrestres (PET). Iquitos, Perú. p. 51 - 52.
- CALLO, D.; KRISHNAMURTHY, L.; ALEGRE, J. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú. [En línea]: <http://www.cuantificaciondelcarbono.pdf>, documento, 15 octubre 2006.
- CANAVIRI, L. 2009. Evaluación agronómica de dos ecotipos introducidos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en tres períodos de trasplante con espaldera en la Estación Experimental de Sapecho Departamento de La Paz. Tesis Ing. Agrónomo. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 94 p.
- CIRILO, A. 2009. Manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz. Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires. [En línea]: ([http://](http://www.inta.ar/biblioteca/libros) <http://www.inta.ar/biblioteca/libros>, 10 abr. 2011).
- CRAIG, J.; BIFFI, R.; GALIMBERTI, K.; GHORI, J.; GÖTER, N.; HAKHOO, D.; LE HERON, J.; THUROW, M. 2008. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rocks. *Marine and Petroleum Geology*. Oxford. 40:40-43.
- DEVLIN, R. 1975. Fisiología vegetal. 3 Ed. Barcelona, España. p. 86-92.

- DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE CARBONO Y CAPTURA POTENCIAL. 2008. Determinación de Contenidos de Carbono y Captura Potencial. [En línea]: Cyslac, (<http://www.cyslac.pdf>, documento, 10 Agosto 2008).
- DHILLON, R. y WUEHLISCH, G. 2007. Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and Bioenergy*. Oxford, Inglaterra, Blackwell. p. 12-16.
- DOSTER, N.; ROQUE, J.; BROKAMP, G.; CANO, A.; LA TORRE, M. 2009. Datos botánicos de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Hoja botánica- Desarrollo de monografías botánicas (fact sheets). UNMSM. [En línea]: ([http:// http://www.botconsult.de/downloads/Sacha_Inchi](http://http://www.botconsult.de/downloads/Sacha_Inchi), 10 Abr. 2009).
- EGUREN, L. 2004. El Mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Ser. Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile, Chile. 83:25-26.
- FAO. 2001. Tendencia general de la captura de carbono en el suelo. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779Sy2779s05.htm>, documento, 10 Agosto 2008).
- FLORES, P.S. 1997. Cultivo de frutales nativos amazónicos. SPT - TCA Secretaría Pro - tempore, Tratado de Cooperación Amazónica. Nº 51. Lima, Perú. Pp. 71 - 75.
- GAO, G. 2008. Research status and oil & gas geology significance of carbonate rock stylolite. *Natural Gas Geoscience*. Oxford 24(2):218-226.
- GÓMEZ, A.R. 1997. Comparativo de rendimiento de ocho cultivares de cocona (*Solanum tojiro* H.B.t) en Tulumayo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 83 p.

- GONZÁLEZ, J.; RODRÍGUEZ, O.; DE LA CRUZ, J.; ALMONTE, J. 2011. Evaluación de tres densidades de plantación de cacao y dos arquitecturas provenientes de reproducción asexual. Revista APF 4(2): 1-3. [En línea]: ([http:// http://www.sodiaf.org.do/revista/](http://www.sodiaf.org.do/revista/), 18 abr. 2011).
- GUTIÉRREZ, L.; ROSADA, L.; JIMÉNEZ, A. 2006. Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and oil characteristics of their lipid fraction. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). Bogotá D.C, Colombia. 8 p.
- GRIJALVA, R.; MACÍAS, R.; ROBLES, F. 2006. Evaluación de densidades y arreglos de plantación en tomate bola en condiciones de invernadero en el Noroeste de Sonora. Biotecnia, Buenos Aires. XII (2):113-115.
- HAMAKER, B.R, VALLES, C.; GILMAN, R.; HARDMEIER, R.M.; CLARK, D.; GARCIA, H.H.; GONZÁLES, A.E.; KOHLSTAD, I.; CASTRO, M.; VALDIVIA, R.; RODRIGUEZ, T.; LESCANO, M. 1992. Aminoacid and fatty acid profiles of the inca peanut (*Plukenetia Volubilis* L.). Iowa-Estados Unidos. American association of cereal chemist. Note. Vol. 69. Nº 4. Pp 461-463.
- HAROLDO, R. 2009. Caracterização genética, morfológica e agrônômica de germoplasma de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) no Estado do Amazonas. Tesis M. Sc. Mina Gerais, Brasil. Programa de Pós-Graduacao Universidad Federal de Vicosa. 58 p.
- HERRERA, A.J.B. 2007. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis Ing. Agrónomo, Tingo María, Perú. Univ. Nacional Agraria de la Selva. 130 p.

- HIGUCHI, S. 2006. Decreto Ley: Ley que declara al sachá inchi como patrimonio genético nacional y producto alternativo en la lucha contra la pobreza. [En línea]: (<http://www.proyectoleysachainchi>, documento, 15 setiembre 2006).
- HOLDRIDGE, L., 1987. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Costa Rica. 231 p.
- HOUGHTON, R. 2007. Balancing the global carbon budget. Annual review of earth and planetary sciences. Saint Luis. 35(1):313-347.
- INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO - HINGEMMET. 2015. Sistema de información geológico y catastral minero - GEOCATMIN. [En línea]: (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=f2e8633566b04411ae497a1765906aa2>, documento, 21 setiembre 2015).
- KASTING, J. y WALKER, J. 1992. The geochemical carbon cycle and the uptake of fossil fuel CO₂. Department of Geosciences, Penn State University, University Park. p. 2-4.
- KANNINEN, M. 2001. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Taller Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO. Roma, Italia. p. 25-28.
- LANDIS, T. 1989. Manual para clasificación de especies forestales: Fertilización y riego. Vol. 4. Departamento de agricultura del servicio forestal. Washington, DC. EE.UU. p. 148-152.
- LEÓN, M. 2007. El mercado de carbono, una oportunidad para la industria peruana. Informe técnico, Delapunte. Lima, Perú. 1(2):11-14.

- LINO, K. 2009. Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali-Perú. Tesis Ing. Forestal. Univ. Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú. 123 p.
- LOLLATO, M.A. 1982. Estudio de los efectos de las distancias entre hileras y densidades de siembra en la calidad de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Pesquisas Agropecuarias. Brasil. 37 p.
- LOHMANN, L. 2012. Mercados de carbono, la neo liberalización del clima. Editores: Acosta A. y Martínez E. 1ra. Ed. Luxemburg Fung. p. 45-46.
- LÓPEZ, M.; KONING, F.; PAREDES, H.; BENITEZ, P. 2002. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente de Ecuador. Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Alemania 42 p.
- MACBRIDE, J. 1995. Euphorbiaceae, flora of Perú. Fields Museum. Natural History Botanic. 13(3A/1): 20-33.
- MANCO, E. 2006. Cultivo de sancha inchi. Estación Experimental Agraria el Porvenir". INIA-Tarapoto, Perú 11 p.
- MANZUR, P. y ALVA, M. 2009. Bonos de carbono, una oportunidad de desarrollo para el Perú. Tesis Lic. Derecho. Pontifica Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 123 p.
- MAKUMBA, W.; AKINNIFESI, F.; JANSSEN, B.; OENEMA, O. 2005. Long-term impact of a Gliricidia-Maize intercropping system on carbon sequestration in Southern Malawi. [En línea]: World Agroforestry, (<http://www.worldagroforestry.org/Library/index.asp.pdf>, documento, 10 Agosto 2009).

- MEZT, B., DAVIDSON, O., DE CONINCK, H., MEYER, L. 2005. La captación y almacenamiento de carbono. Resumen para responsables de políticas. Informe del grupo de trabajo III del IPCC-Grupo Intergubernamental de Expertos Cambio Climático. PNUMA-Washington D.F, EE.UU 29 p.
- PALM C.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P.; ALEGRE, J.; ARÉVALO L.; E. CASTILLA C.; CORDEIRO, D.; HAIRIAH, K.; KOTTO, S.; MOUKAM, A.; PARTON, W.; RIESE, A.; RODRÍGUEZ, V., M. SITOMPUL, S. 2005. Carbón losses and sequestration after land use change in the humid Tropics. [En línea]: Slash And Burn Agriculture, (<http://www.carbonlossesandsequestration.pdf>, documento, 10 Agosto 2009).
- PÉREZ, G.J. y GUTIÉRREZ, G. 1978. Respuesta a algunos cultivares de *Coffea arabica* L., Costa Rica. 2(1): 61-68.
- RANGEL, C. 2009. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), posible alternativa productiva para piedemonte llanero en el departamento Del Meta. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de los Llanos. Manizales, Colombia. 93 p.
- RISCO, M. 2008. Aplicación de técnicas de recolección y conservación de granos de polen en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la zona de Bello Horizonte, distrito de la banda de Shilcayo - Región San Martín. Tesis Ing. Agrónomo. Tarapoto, Perú. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. 92 p.
- RODRÍGUEZ, R., JIMÉNEZ, J., AGUIRRE, O., TREVIÑO, E. 2008. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Ra-Ximhai, Tamaulipas, México. 3(5): 317-327 pp.
- ROJAS, M.J. 2005. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de

- Costa Rica. [En línea]: CATIE, (<http://www.secuestrodecarbono yuso.pdf>, documento, 10 Agosto 2008).
- RUBIN, E.; MEYER, L.; HELEEN DE CONICK, P. 2005. Captación y almacenamiento de dióxido de carbono CO₂. Reunión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (12,13, 2005, Washintong D.F, EE.UU). 2005. Naciones Unidas, PNUMA. p. 24-29.
- RÜGNITZ, M.; CHACÓN, M.; PORRO, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Center for International Forestry Research (CIFOR). 1ra. ed. Bogor Barat, Indonesia. 92 p.
- RUIZ, H. 2009. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de sacha inchi *Plukenetia volubilis* L. 34(2): 259-267 pp.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ – SENAMHI. 2017. Precipitación total mensual y temperatura máxima mensual, periodo 2007 - 2008. Huánuco, Perú – 22 de setiembre del 2017.
- SIEGENTHALER, F.; STOCKER, E.; TONNIN, D.; LUTHI, J.; SCWANDER, B.; STAUFFER, D. 2005. Stable carbon cycle–climate relationship during the late pleistocene. *Science*, Boston. 353(5752):1313-1314.
- SCHLEGEL, B.; GAYOSO, J.; GUERRA, J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. 1ed. Valdivia, Chile. 17 p.
- SCHULTE, E.E. and HOPKINS, B.G. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. In: Magdoff, F.R., *et al.*, Eds., *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, SSSA Special Publication Number 46, SSSA, Madison, 21-31.

- SMITH, E., VELÁSQUEZ, M., ZUÑIGA, L., VALERIN, J. 2010. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (*Musa AA*). Agronomía Costarricense, [En línea]: (<http://www.mag.go.cr/>, doc. 10 jun. 2011).
- STEINBACH, H. y ÁLVAREZ, R. 2008. Intercropping system on carbon sequestration in Southern Malawi. [En línea]: INPOFOS, (<http://www.inpofossiembradirecta.pdf>, documento, 10 Agosto 2008).
- VARGAS, P. 2009. Cambio climático y sus efectos en el Perú. Banco Central de Reserva del Perú BCR. Lima, Perú. 59 p.
- VECCO, D. y CAVE, R. 2008. Trip fitófago en el cultivo de *Plukenetia volubilis* L., en San Martín, Amazonía Peruana. Sociedad Entomológica del Perú. En línea]: (<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca>, 10 Abr. 2009).
- VERHULST, N., FRANCOIS, I., GOVAERTS, B. 2004. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo. Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México D.F, México. p. 8-9.
- VILLCA, D. 2006. Evaluación de dos ecotipos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en etapa de vivero bajo tres sustratos, con fines de introducción en la Estación Experimental de Sapecho, Departamento de La Paz. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía. 101 p.
- WALKLEY, A. and BLACK, A.I. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.

IX. ANEXO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562342 Anexo 283 Fax (064) 561156 Apto. 156



ANÁLISIS DE SUELOS

Procedencia:..... T.M.Naranjillo

Solicitante: Quiñonez Alvarado, Sallí

Número de Muestra		CE	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CO ₂ Ca	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES me/100 g									
Laborat.	Campo	mmh/cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	1:1	%	%	%	ppm	kg/ha	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	% Bas.Camb	% Ac.Camb
M543-06	M1		17,0	56,0	25,0	Fo.Lo.	5,8	0,0	3,1	0,14	6,20	338	4,42	2,80	1,20	0,40	0,02				100,00	

ANÁLISIS FÍSICO			
Cap. Ret. Agua (%)	Dens. Apar. (gr/cm ³)	Estructura	Compactación (gr/cm ³)
17,00	1,18	Granular	3,00

Para: % Bases Cambiables= Ca+Mg+K+Na/CICe X 100
Para: % Acidos Cambiables= Al+H/CICe X 100

Observaciones : Muestras proporcionadas por el interesado

Fecha: Tingo María, 26 de Octubre del 2007



Laboratorio de Análisis de Suelos

Ingeniero: Carlos Huatcco Barzola
JEFE DEL LABORATORIO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



PERÚ Ministerio del Ambiente



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

ESTACIÓN: CP TINGO MARIA

LATITUD: 09° 18' 30.60" S
LONGITUD: 76° 00' 1.59" W
ALTITUD: 660 msnm

DPTO.: Huanuco
PROV.: Leoncio Prado
DIST.: Rupa Rupa

PARÁMETRO: Precipitación Total Mensual (mm)

Periodo : 2007 - 2008

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	118.5	267.5	277.3	492.7
2008	428.8	534.6	300.6	196.6	120.3	106.2	224.4	55.2	164.8	335	-	-

PARÁMETRO: Temperatura Máxima Mensual (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	30.83	30.42	30.54	30.01
2008	29.39	28.9	28.52	29.68	29.28	29.11	29.53	30.36	30.29	30.25	-	-

PARÁMETRO: Temperatura Mínima Mensual (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	19.44	20.18	20.91	20.66
2008	20.76	20.46	20.25	20.69	19.93	19.42	19.08	20.04	19.43	20.2	-	-

S/D: SIN DATOS

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

COD. REG. N° D406 /2017

PRESUPUESTO N° : 442.

HUANUCO, 22 DE SETIEMBRE DEL 2017.

Pág. 1 de 1



[Handwritten Signature]

Ing. Hector Alberto Vera Arévalo
Director Zonal 10
SENAMHI

POB. Abasco Mza A Lote 4 - Huanuco, Huanuco.
Tel. 082 - 512070. RPM # 0324725. RFC 98289993
Link: http://www.senamhi.gob.pe

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : QUIÑONEZ ALVARADO SALLI

" TRABAJO DE INVESTIGACIÓN".



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
 Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562342 Anexo 283 Fax (064) 561156 Aptdo. 156



"AÑO DE LAS CUMBRES MUNDIALES EN EL PERU"

ANALISIS DE CARBONO EN SACHAINCHI

SOLICITANTE : Saly Quiñonez
 LUGAR : Tingo María
 FECHA : 29-12-08.

Nº	Clave	% Carbono	Nº	Clave	% Carbono	Nº	Clave	% Carbono
1	T1-I	37,7365	33	T1-V	42,5594	65	T1-III	35,7832
2	T2-I	36,1352	34	T2-V	43,3455	66	T2-III	39,7422
3	T3-I	36,3205	35	T3-V	41,1554	67	T3-III	39,8512
4	T4-I	36,0576	36	T4-V	42,6423	68	T4-III	33,1614
5	T5-I	37,4687	37	T5-V	42,3738	69	T5-III	38,1775
6	T6-I	36,2616	38	T6-V	42,1151	70	T6-III	43,4439
7	T7-I	36,9131	39	T7-V	42,7614	71	T7-III	35,2069
8	T8-I	38,2429	40	T8-V	43,1365	72	T8-III	41,1046
9	T1-II	36,6915	41	T1-II	38,4660	73	T1-I	42,0320
10	T2-II	37,8842	42	T2-II	39,2502	74	T2-I	42,0229
11	T3-II	37,5862	43	T3-II	43,2793	75	T3-I	42,3214
12	T4-II	38,3067	44	T4-II	42,6588	76	T4-I	41,5145
13	T5-II	36,9593	45	T5-II	27,3938	77	T5-I	42,3801
14	T6-II	39,3220	46	T6-II	37,7527	78	T6-I	42,2402
15	T7-II	33,5984	47	T7-II	43,1543	79	T7-I	42,7119
16	T8-II	38,4588	48	T8-II	42,3778	80	T6-I	40,5256
17	T1-III	37,9493	49	T1-II	42,7378	81	T1-II	41,6364
18	T2-III	37,9784	50	T2-II	42,3655	82	T2-II	41,9051
19	T3-III	38,6866	51	T3-II	42,3666	83	T3-II	42,2679
20	T4-III	40,0458	52	T4-II	39,8324	84	T4-II	40,8694
21	T5-III	38,3161	53	T5-II	42,0021	85	T5-II	41,8379
22	T6-III	40,9904	54	T6-II	31,5430	86	T6-II	41,6151
23	T7-III	39,6526	55	T7-II	41,8180	87	T7-II	41,5815
24	T8-III	38,7297	56	T6-II	32,1872	88	T6-II	41,3045
25	T1-I	38,9712	57	T1-III	42,8052	89	T1-III	42,7973
26	T2-I	39,8660	58	T2-III	42,9905	90	T2-III	42,1234
27	T3-I	41,8251	59	T3-III	42,0408	91	T3-III	41,9447
28	T4-I	39,8750	60	T4-III	40,8861	92	T4-III	41,8325
29	T5-I	36,0137	61	T5-III	42,3932	93	T5-III	42,2343
30	T6-I	37,3098	62	T6-III	42,2799	94	T6-III	41,7101
31	T7-I	36,1267	63	T7-III	44,1405	95	T7-III	41,7447
32	T8-I	38,4798	64	T8-III	43,2400	96	T6-III	41,1079



[Signature]
 M.Sc. Carlos Huatuco Barzola



Figura 13. Muestreo de suelo para su análisis de partida en el campo experimental antes de instalación de sachá inchi.

Fuente: Fuente propia.



Figura 14. Obtención de muestra de suelo para la densidad aparente del suelo de la parcela experimental.

Fuente: Fuente propia.



Figura 15. Germinación de las semillas de sachá inchi por tratamiento, colocadas sobre el suelo a 3 cm de profundidad.

Fuente: Fuente propia.



Figura 16. Plantación de sachá inchi de 6 meses de edad con sus respectivos tutores vivos de *Erythrina*.

Fuente: Fuente propia.



Figura 17. Fructificación en la planta de sachá inchi ecotipo Pinto Recodo.

Fuente: Fuente propia.



Figura 18. Fruto maduro seco de sachá inchi ecotipo Pinto Recodo.

Fuente: Fuente propia.