

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN GESTION AMBIENTAL



**CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS AGROFORESTALES
DE *Coffea arabica* L. "CAFÉ" DE 4 Y 7 AÑOS EN RELACION A
LA GRADIENTE ALTITUDINAL, HUANUCO**

TESIS

Para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

JOEL FERNANDO GONZALES RODRIGUEZ

Tingo María - Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESCUELA PROFESIONAL DE ADMINISTRACIÓN
Av. Universitaria s/n - ☎ (062) 562342 anexo 247-FAX: (062) 561156



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 013-2019-EPA-FCEA-UNAS

En la ciudad universitaria, a los 31 días del mes de mayo de 2019, siendo las 11:00 am., reunidos en el auditorio del Centro de simulación de negocios y asesoría empresarial de la Escuela Profesional de Administración, se instaló el jurado evaluador nombrado mediante Resolución Nro. 197/2017/D-FCEA, de fecha 19 de setiembre de 2017, a fin de dar inicio a la sustentación de la tesis para optar el título de Licenciado en Administración denominado:

CALIDAD DE SERVICIO Y LA SATISFACCIÓN DE LOS CLIENTES DE LAS CLINICAS DENTALES DE LA CIUDAD DE TINGO MARÍA

Presentado por el Bachiller en Ciencias Administrativas ARIAS FLORES, Luis, luego de la sustentación y absueltas las preguntas de rigor, se procedió a la respectiva calificación de conformidad con el Art. 26° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, cuyo resultado se indica a continuación:

APROBADO POR : UNANIMIDAD

CALIFICATIVO : BUENO

Siendo las 12:30 pm., se dio por culminado el acto público de sustentación de tesis, firmando a continuación los miembros del honorable jurado y su asesor, en señal de conformidad.

Tingo María, 31 de mayo de 2019.

Dr. Víctor Chacón López
Presidente del Jurado

Lic. Adm. Antonio S. Simeón Núñez
Miembro

Mag. Edward J. Coz Rodríguez
Miembro



Mag. Nebenka Caro Potokar
Asesor

Nota:

(Excelente = 19-20)
(Muy Bueno = 16, 17, y 18)
(Bueno = 13, 14, y 15)
(Regular = 11, 12,)
(Malo = 0, a 10)

DEDICATORIA

A Dios, por su gran misericordia, por darme fuerza y sabiduría para enfrentar obstáculos y seguir adelante aún en los momentos más difíciles. A Jesús, en eterna gratitud y amor, por haber dado su vida por la mía.

A mí querida esposa: Stephani Giselle por el gran amor, ternura y apoyo que me brindo todo este tiempo.

A mis queridos padres: Fernando Segundo y Durvis Carol, quienes me dieron la vida y me enseñaron a vivirla; a mi hermano Christian Paul, por su confianza y sobre todo incentivar me para salir adelante.

A mis tíos: Mariela Catalina, Samuel Ángel, Walter Hugo y Cesar Enrique con el cariño y gratitud de siempre.

AGRADECIMIENTOS

- A La Universidad Nacional Agraria de la Selva, que a través de la Escuela de Posgrado ha permitido cristalizar uno mis anhelos profesionales.

- A Los catedráticos de la Escuela de Posgrado – UNAS, por su contribución en mi formación académica.

- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor de la presente tesis.

- A los miembros del jurado de tesis: M. Sc. Edilberto Chuquilín Bustamante, M. Sc. Ronald H. Puerta Tuesta y M. Sc. Ladislao Ruíz Rengifo, por el aporte académico y científico.

- A mis amigos y colegas profesionales quienes de una u otra forma me brindaron su apoyo para culminar esta etapa de mi vida profesional.

ÍNDICE TEMÁTICO

Contenido	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	3
2.1. Sistema agroforestal (SAF)	3
2.1.1. Sistemas agroforestales con café.....	4
2.1.2. Características de los sistemas agroforestales	5
2.1.3. Clasificación de los sistemas agroforestales	5
2.1.4. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono	5
2.1.5. Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono.....	6
2.1.6. Gradiente altitudinal.....	6
2.2. Efectos de la concentración de dióxido de carbono	8
2.2.1. Efecto invernadero	8
2.2.2. La convención sobre el clima y Protocolo de Kyoto (PK)	8
2.3. Secuestro del carbono en café.....	9
2.4. Carbono almacenado	10
2.4.1. Biomasa	10
2.5. Carbono fijado	11
2.5.1. Fijación del carbono por medio de los vegetales.....	11
2.5.2. Fijación de carbono en el suelo	12

2.6.	Reportes de trabajo de investigación en la fijación de carbono en café bajo sistemas agroforestales	13
III.	Materiales y métodos.....	18
3.1.	Lugar de ejecución	18
3.1.1.	Ubicación política	18
3.1.2.	Ubicación geográfica	18
3.1.3.	Zona de vida.....	19
3.1.4.	Descripción de los sistemas	19
3.2.	Materiales y equipos	20
3.3.	Criterios de la investigación	20
3.3.1.	Método del estudio	20
3.3.2.	Tipo de estudio	20
3.3.3.	Nivel de estudio.....	21
3.3.4.	Diseño del estudio	21
3.3.5.	Población en estudio	21
3.3.6.	Muestra	21
3.3.7.	Muestreo	21
3.3.8.	Variables	22
3.4.	Metodología	22
3.4.1.	Fase pre campo.....	22
3.4.2.	Fase de campo.....	22
3.4.3.	Selección y delimitación del área en estudio.....	23

3.4.4. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico	24
3.4.4.1. Evaluación de la biomasa vegetal para las plantas de café.....	24
3.5. Cálculos	28
3.5.1. Cálculos de la biomasa vegetal	28
3.5.1.1. Evaluación de la biomasa vegetal para las plantas de café (t ha ⁻¹)	28
3.5.1.2. Biomasa de raíces	29
3.5.1.3. Biomasa árboles de guaba (t ha ⁻¹).....	29
3.5.1.4. Biomasa arbustiva / herbácea (t ha ⁻¹)	30
3.5.1.5. Biomasa de la hojarasca (t ha ⁻¹)	30
3.5.1.6. Cálculos de la biomasa vegetal total (t ha ⁻¹)	31
3.5.1.7. Cálculo del carbono total (biomasa vegetal)	31
3.5.1.8. Cálculo del carbono total en frutos de café	32
3.5.2. Cálculo del peso del volumen del suelo (t ha ⁻¹)	32
3.5.2.1. Densidad aparente del suelo (g cc ⁻¹)	32
3.5.2.2. Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo ..	33
3.5.3. Cálculos del carbono total (biomasa vegetal aerea más suelo).....	33
3.5.3.1. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal aerea total (t ha ⁻¹).....	33
3.5.3.2. Cálculo del carbono en el suelo (t ha ⁻¹).....	34

3.5.3.3. Cálculo del carbono total del sistema de unidad de tierra (SUT).....	34
3.6. Análisis de datos	34
3.7. Rentabilidad económica.....	35
3.7.1. Valor actual neto (VAN).....	35
3.7.2. Tasa interna de retorno (TIR).....	36
3.7.3. Beneficio - costo (B/C).....	36
IV. Resultados.....	37
4.1. Biomasa almacenada en sistemas agroforestales de <i>coffea arábica</i> l. “café” en producción de 4 y 7 años y en tres gradientes altitudinales.....	37
4.1.1. Biomasa en la zona de chipaquillo a 1,000 msnm.....	37
4.1.2. Biomasa en la zona de José María Ugarteche a 1,400 msnm.....	39
4.1.3. Biomasa en la zona de Tupac Amaru a 1,800 msnm.....	40
4.2. Carbono almacenado en sistemas agroforestales de <i>coffea arábica</i> l. “café” de dos edades y en tres gradientes altitudinales..	42
4.2.1. Carbono de la biomasa vegetal	42
4.2.2. Carbono en el suelo	46
4.2.3. Carbono en el fruto del café	48
4.2.4. Carbono total (CT).....	51
4.3. Correlacionar la cantidad de carbono almacenado con la gradiente altitudinal	53

4.4. Rentabilidad económica del sistema agroforestal de <i>coffea arabica</i> I. “café” en relación a la gradiente altitudinal	56
V. Discusión	60
VI. Conclusiones	63
VII. Recomendaciones	64
VIII. Referencias bibliográficas.....	65
IX. Anexos.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de Chipaquillo.	37
2. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de José María Ugarteche.	39
3. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de Túpac Amaru.	41
4. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.	43
5. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono de la biomasa vegetal.	43
6. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.	44
7. Influencia simple de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.	44
8. Influencia de los niveles altitudinales y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.	44
9. Influencia de la altitud y los niveles de edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.	45
10. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono edáfico.	46
11. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono edáfico.	46
12. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono edáfico.	47

13.	Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.....	48
14.	Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono del fruto de café.....	48
15.	Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono del fruto de café.....	49
16.	Influencia simple de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.....	49
17.	Influencia de los niveles altitudinales y la edad sobre el carbono del fruto de café.....	50
18.	Influencia de la altitud y los niveles de edad sobre el carbono del fruto de café.....	50
19.	Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.....	51
20.	Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.....	51
21.	Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.....	52
22.	Correlación de la biomasa y carbono sobre la gradiente altitudinal.....	53
23.	Indicador económico Valor Actual Neto para los sistemas agroforestales de café.....	56
24.	Indicador económico Tasa Interna de Retorno para los sistemas agroforestales de café.....	58
25.	Indicador económico Beneficio Costo para los sistemas agroforestales de café.....	59

26.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años (transectos A, B y C).	74
27.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años (transectos A, B y C)	76
28.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 4 años (transectos A, B y C)	78
29.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 7 años (transectos A, B y C)	80
30.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 4 años (transectos A, B y C).	82
31.	Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 7 años (transectos A, B y C).	84
32.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años (transectos A, B y C)	86
33.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años (transectos A, B y C)	86
34.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 4 años (transectos A, B y C).	87
35.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 7 años (transectos A, B y C).	87
36.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 4 años (transectos A, B y C).	88
37.	Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 7 años (transectos A, B y C).	88
38.	Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años.....	89

39. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.....	89
40. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Túpac Amaru de 4 años.....	90
41. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Túpac Amaru de 7 años.....	90
42. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Chipaquillo de 4 años.....	91
43. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Chipaquillo de 7 años.....	91
44. Biomasa en la hojarasca de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años.....	92
45. Biomasa en la hojarasca de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.....	92
46. Biomasa en la hojarasca de la zona de Túpac Amaru de 4 años.....	93
47. Biomasa en la hojarasca de la zona de Túpac Amaru de 7 años.....	93
48. Biomasa en la hojarasca de la zona de Chipaquillo de 4 años.....	94
49. Biomasa en la hojarasca de la zona de Chipaquillo de 7 años.....	94
50. Biomasa de raíces de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años años.....	95
51. Biomasa de raíces de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.....	95
52. Biomasa de raíces de la zona de Túpac Amaru de 4 años.	96
53. Biomasa de raíces de la zona de Túpac Amaru de 7 años.	96
54. Biomasa de raíces de la zona de Chipaquillo de 4 años.	97

55.	Biomasa de raíces de la zona de Chipaquillo de 7 años.	97
56.	Carbono almacenado en el suelo de la zona de J.M. Ugarteche.	98
57.	Carbono almacenado en el suelo de la zona de Tupac Amaru.	99
58.	Carbono almacenado en el suelo de la zona de Chipaquillo.	100
59.	Carbono almacenado en el fruto del café.	101
60.	Carbono almacenado total en el Sistema de Unidad de Tierra (SUT).	102
61.	Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de J.M. Ugarteche.	103
62.	Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de Túpac Amaru.	104
63.	Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de Chipaquillo.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Detalle de las parcelas identificadas para la evaluación de los sistemas agroforestales de café de 4 y 7 años, con las tres gradientes altitudinales.....	23
2. Detalle de las parcelas con sus tres transectos para la evaluación de la biomasa vegetal (modificado de ALEGRE et al., 2002).	23
3. Detalle de las áreas para la evaluación de la biomasa vegetal para el cultivo de café.....	24
4. Diseño de las áreas extrapoladas para la evaluación de biomasa vegetal para café al lado izquierdo y el área de la derecha es para los árboles de guaba.	25
5. Diseño de las áreas para la evaluación de biomasa arbustiva y herbácea.	26
6. Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo, arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5 m x 0.5 m para hojarasca.....	27
7. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.....	45
8. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono en el suelo.....	47
9. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.....	50
10. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.	52
11. Regresión entre la gradiente altitudinal y la biomasa aérea viva.....	54
12. Regresión entre la gradiente altitudinal y la biomasa radicular.....	54

13. Regresión entre la gradiente altitudinal y el carbono edáfico.	55
14. Regresión entre la gradiente altitudinal y el carbono total.	55
15. Regresión entre la gradiente altitudinal y el Valor Actual Neto en los sistemas agroforestales de café.	57
16. Regresión entre la gradiente altitudinal y la Tasa Interna de Retorno en los sistemas agroforestales de café.....	58
17. Regresión entre la gradiente altitudinal y el Beneficio Costo en los sistemas agroforestales de café.	59
18. Muestra de hojarasca recolectada para la obtención de la biomasa.....	106
19. Muestra de hojarasca y herbácea en la estufa a 80 °C por 72 horas.	106
20. Peso fresco de la muestra de suelo de los diferentes estratos para ser analizado y obtener carbono en el suelo.....	107
21. Secado de la muestra del suelo a diferentes estratos en la estufa a 80 °C por 72 horas.	107
22. Muestreo en campo de hojarasca y herbácea para la obtención de la biomasa.....	108
23. Evaluación del diámetro de la planta de café a 15 cm del suelo con el vernier digital.....	108

RESUMEN

El trabajo de investigación: Carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. "Café" de 4 y 7 años en relación a la gradiente altitudinal, se realizó en tres caseríos (Chipaquillo a 1,000 msnm, José María Ugarteche a 1,400 msnm y Túpac Amaru a 1,800 msnm); ejecutándose de agosto a noviembre de 2015, teniendo por finalidad estimar la biomasa y cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. "Café" en producción de 4 y 7 años en tres gradientes altitudinales y su rentabilidad económica a través de los indicadores económicos. Para la evaluación de biomasa vegetal en plantas de café y guaba se utilizó la metodología recomendada por el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF) y para el carbono almacenado en el suelo se obtuvo mediante análisis de suelos por el método de Walkley Black. Por lo tanto los resultados obtenidos, de la biomasa vegetal en J. M. Ugarteche de 4 y 7 años son altos con 73.16, 36.06 tha^{-1} y para carbono fue 73.07, 98.08 t C ha^{-1} respectivamente; mientras que para la zona Túpac Amaru alcanzaron valores medios con 45.70, 46.26 t ha^{-1} y 95.88, 57.45 t C ha^{-1} y en la zona Chipaquillo fueron bajos con 26.17, 27.98 t ha^{-1} y 74.39, 84.59 t C ha^{-1} , mostrando diferencias estadísticas significativas entre cada componente analizado; en cuanto a los indicadores económicos de Túpac Amaru, Ugarteche y Chipaquillo, el VAN fue 3,283.84, 2,783.30 y 2,031.45 soles; el TIR es 25.22, 23.86 y 21.41% y el beneficio/costo es de 1.78, 1.66 y 1.48 soles. Por lo que concluyo que la mayor cantidad de carbono almacenado en la edad de 4 años fue mayor en la zona de Túpac Amaru con 98.88 t C ha^{-1} y en la edad de 7 años fue mayor en J.M. Ugarteche con 84.59 t C ha^{-1} .

ABSTRACT

The research work: "Stored Carbon in Agroforestry Systems of Four and Seven Year Old *Coffea arabica* L. "Coffee" in Relation to the Altitudinal Gradient," was carried out on three homesteads (Chipaquillo at 1,000 masl, José María Ugarteche at 1,400 masl and Túpac Amaru at 1,800 masl); executed from August to November, 2015, with the purpose of estimating the biomass and quantity of stored carbon in the agroforestry systems of four and seven year old *Coffea arabica* L. "Coffee," in production, at three altitudinal gradients as well as their economic profitability through the use of economic indicators. For the evaluation of the vegetative biomass of coffee and guava plants, the methodology recommended by the World Agroforestry Center (ICRAF) was used and the stored carbon in the soil was obtained using the Walkley Black soil analysis method. Thus, the obtained results for the vegetative biomass in J. M. Ugarteche from the four and seven year olds are high with 73.16, 36.06 t ac^{-1} and for the carbon they were 73.07, 98.08 t C ac^{-1} , respectively; while for the Túpac Amaru zone, average values were reached with 45.70, 46.26 t ac^{-1} and 95.88, 57.45 t C ac^{-1} and in the Chipaquillo zone, they were low with 26.17, 27.98 t ac^{-1} and 74.39, 84.59 t C ac^{-1} , showing significant statistical difference between each component that was analyzed; with respect to the economic indicators for Túpac Amaru, Ugarteche and Chipaquillo, the NPV (VAN in Spanish) was 3,283.84, 2,783.30 and 2,031.45 soles; the IRR (TIR in Spanish) is 25.22, 23.86 and 21.41% and the benefit/cost is 1.78, 1.66 and 1.48 soles. Thus, it is concluded that the greatest quantity of stored carbon in the four year old plants was greatest in the Túpac Amaru zone with 98.88 t C ac^{-1} and for the seven year old plants it was greatest in J.M. Ugarteche with 84.59 t C ac^{-1} .

I. INTRODUCCIÓN

Existe una preocupación creciente por el cambio climático y su impacto en la actividad humana y en los recursos naturales. Los gases provenientes de procesos industriales, la actividad agrícola, el uso de combustibles fósiles y la deforestación, son responsables de la mayor parte de las alteraciones climáticas. Dentro de ellos, el dióxido de carbono es de interés especial por ser el gas más abundante y por lo tanto que más contribuye al calentamiento global.

El secuestro de carbono atmosférico, es un proceso metabólico permanente, continuo e indispensable que permite a los vegetales tomar el CO₂ del ambiente; la cual va a ser fijado para su metabolismo y éste convertirlo en alimento que viene a ser el almacenamiento en la planta para finalmente expulsar el oxígeno, constituyéndose como la columna vertebral de la existencia de la vida. A esto se suma el tiempo de duración y la calidad de la luz para una eficiente actividad fotosintética, siendo la masa foliar la unidad indispensable donde se realiza el proceso metabólico.

La estimación adecuada de la biomasa de un área de cultivo, constituye el elemento de gran importancia, debido a que permite determinar las cantidades de carbono existentes en cada uno de estos sistemas. Si bien los agroecosistemas no son reconocidos como sumideros de captura de carbono, porque aún no se conoce sobre su potencial.

Los agroecosistemas cafetaleros, con sombra diversificada, son sistemas potenciales en la captura de carbono. Estos sistemas representan una opción para los productores de café, no solo para dar un valor ecológico agregado, sino también para contar con una fuente económica alternativa que les permita integrarse al desarrollo sustentable del país. La alternativa económica que ofrecen dichos ecosistemas es a través del pago de bonos por

captura de carbono, estrategia que debe ser considerada, diseñada e implementada a corto plazo.

Por lo tanto, los sistemas agroforestales con café son una alternativa para la producción agrícola sostenible que, no solo generan desarrollo económico para el agricultor sino también permiten la conservación del medio ambiente funcionando como sumidero de carbono. En consecuencia, el problema de investigación en este trabajo fue, ¿Qué cantidad de carbono almacenan los sistemas agroforestales con *Coffea arábica* L. “Café” de 4 y 7 años en relación a la gradiente altitudinal? Asimismo, se formuló la hipótesis que los sistemas agroforestales con café de 4 y 7 años presentan variaciones en el almacenamiento de carbono en relación a la gradiente altitudinal.

Para ello se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar el carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arábica* L. “Café” de 4 y 7 años en relación a la gradiente altitudinal.

Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de biomasa almacenada en sistemas agroforestales de *Coffea arábica* L. “Café” en producción de 4 y 7 años y en tres gradientes altitudinales.
- Estimar la cantidad de carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arábica* L. “Café” de dos edades y en tres gradientes altitudinales.
- Correlacionar la cantidad de carbono almacenado con la gradiente altitudinal.
- Determinar la rentabilidad económica de los sistemas agroforestales de *Coffea arábica* L. “Café” en relación a la gradiente altitudinal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SISTEMA AGROFORESTAL (SAF)

La agroforestería es un sistema sustentable en el manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos agroforestales con cultivos de campo y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local (ICRAF, 2011).

El objetivo de los sistemas agroforestales (SAF) es optimizar los efectos benéficos de las interacciones del componente maderable con el componente animal o cultivo, según las condiciones económicas, ecológicas y sociales predominantes. Estos sistemas representan una alternativa para los productores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades productivas económica y ambientalmente más sostenibles y representan una práctica con gran potencial para la captura de carbono (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

Los SAF incluyen prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y plantas que pueden aumentar los rendimientos de la madera lo cual contribuye a crear sumideros para el carbono en forma de árboles y productos maderables perdurables en el tiempo. También ayudan a evitar el agotamiento de las reservas naturales ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques en áreas donde la ley es escasa. Las mesas forestales ubicadas en los SAF pueden evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, un 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (DIXON, 1995 y STELLA, 1999; citados por ICRAF, 2011).

Los sistemas agroforestales brindan al mismo buena humedad, generan humus al descomponerse la materia orgánica producto de las caídas de hojas y podas de los árboles que constituyen el sistema. Así, la fijación y almacenamiento de carbono en los SAF son una alternativa para dar valor agregado a la producción que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (ÁVILA *et al.*, 2001).

2.1.1. SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ

La forma de un sistema agroforestal en el cultivar café requiere estar sembrado generalmente bajo especies de árboles forestales. En Costa Rica hace unos años cerca del 75% del área cafetalera se mantiene con sombra, con una intensidad que iba desde muy poca hasta sombrero excesivo. Los sistemas agroforestales de café con sombra de árboles, contribuyen a los esfuerzos por reducir el efecto negativo del exceso de CO₂ en la atmósfera; a la vez que se conserva la biodiversidad (CATIE, 2010).

En una investigación llevada a cabo en Ciudad Colón, Costa Rica, se obtuvo que un sistema agroforestal de café compuesto por 90 árboles de sombra de *Erythrina spp*, en crecimiento libre, y una densidad de cafetos de 5000 plantas por hectárea, se almacenó 198 t C ha⁻¹, tomando en cuenta la parte aérea y raíces, la vegetación herbácea, hojarasca y la materia orgánica del suelo (CATIE, 2010).

En Guatemala se realizó un estudio en parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en un sistema agroforestal de café con sombra de *Inga sp.* y *Musa sp.*, resultando un almacenado de 115,5 t C ha⁻¹ para todo el sistema (árboles, café, musáceas, vegetación herbácea y suelo) (MÁRQUEZ, 2000).

Estimaron la fijación de carbono para sistemas agroforestales con café, árboles de sombra y musáceas, obteniendo para todo el sistema (árboles, café, suelo y hojarasca), un promedio de 91.64 t C ha⁻¹ (Alvarado *at. al.*, 1999; citados por ALEGRE *et. al.*, 2002).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

En su estructura combina árboles, cultivos y animales en forma conjunta, optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene la productividad a largo plazo sin degradar la tierra, por lo que los hace sustentables. Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del sistema, la producción será mayor en comparación a los sistemas tradicionales de uso de la tierra, incrementando la productividad del sistema; asimismo, los sistemas agroforestales se caracterizan por su adaptabilidad cultural/socioeconómica ya que se aplica a una amplia gama de predios y de condiciones socioeconómicas, aunque tiene mayor impacto en zonas donde los agricultores no pueden adaptar tecnologías muy costosas y modernas (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

2.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales se clasifican de varias maneras según su estructura en el espacio, su diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas vigentes (MONTAGNINI, 1992).

2.1.4. SISTEMAS AGROFORESTALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO

En principio, la capacidad de sumidero de carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Los sistemas agroforestales pueden contener sumideros considerablemente grandes de carbono y en algunos casos se asemejan a los encontrados en bosques secundarios que representan una alternativa para los productores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades productivas económica y ambientalmente más sostenibles (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

2.1.5. IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA FIJACIÓN DE CARBONO

La fijación y almacenamiento de carbono en los SAF son una alternativa para dar valor agregado a la producción que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (ÁVILA *et al.*, 2001). En algunos casos, el carbono acumulado en estos sistemas es similar a aquellos encontrados en bosques secundarios, en este contexto son una opción para almacenar carbono (MONTENEGRO y ABARCA, 1999).

La cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de un sistema agroforestal oscila normalmente de 3 a 25 t C ha⁻¹; en el caso de huertos caseros se logra secuestrar 50 t C ha⁻¹. El potencial para el almacenamiento de carbono en sistema agroforestal, incluyendo el carbono del suelo, oscilan entre 12 y 228 t C ha⁻¹, siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo (CALLO, 2000).

En algunos sistemas agroforestales se han estimado tasas de fijación de carbono 0.1 a 3.6 t C ha⁻¹. El almacenamiento de CO₂ depende de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y del manejo silvicultural al que se vea sometido (SEGURA y KANNINEN, 2006).

2.1.6. GRADIENTE ALTITUDINAL

Existen varias razones que podrían fundamentar el empleo de una de dichas denominaciones en lugar de las otras. No solo varía la temperatura atmosférica con la altura relativa sino también otros elementos del clima como son la humedad, las precipitaciones, los efectos de los vientos (sobre todo, a escala local) y por supuesto, la presión atmosférica. Así la denominación de pisos ecológicos podría preferirse si vamos a estudiar detalladamente la forma como la altitud en la zona intertropical modifica todos y cada uno de los elementos climáticos (ESCAMILLA, 2004).

Se realizaron estudios de carbono en Yurimaguas, en diferentes sistemas de uso de tierra (SUT); determinando que el bosque tiene contenido más alto de carbono total. El barbecho natural aumenta su contenido de carbono con el tiempo, mientras que en los sistemas manejados son más bajos; sin embargo, el contenido de carbono en la biomasa aérea en los sistemas perennes con árboles y coberturas es más alto. Lo cual indica que cultivos de árboles perennes basados en sistemas multiestratos alcanzan del 20% a 46% de carbono secuestrados del bosque primario, comparado con solo 10% de los sistemas de cultivos anuales (ALEGRE *et al.*, 2002).

Determinaron la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea en distintos sistemas de uso de la tierra, evaluados en la Región San Martín a diferentes niveles altitudinales. De la misma forma afirma que los sistemas permanentes con mayor crecimiento presentan los valores más altos de acumulación de carbono, es el caso del bosque primario a 1,193 msnm que contiene un promedio de 485 t ha⁻¹, valor que se reduce drásticamente si este se deforesta y se quema para plantar cultivos anuales en las mismas áreas llegando a valores muy bajos, menos de 5 t ha⁻¹. Recuperar el estado inicial de las reservas del bosque primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el bosque secundario de 50 años a 700 msnm que alcanza solo un promedio de 234.3 t ha⁻¹ de lo que se tenía en el bosque primario. Debemos de destacar que no se podrá observar una recuperación significativa si estos sistemas son continuamente perturbados (extracción selectiva de madera), tal como se observa en el bosque secundario de 20 años a 700 msnm ya descremado que contó con un promedio de 62.1 t ha⁻¹ de lo capturado por el bosque primario. El sistema café – guaba de cuatro años a 1,500 msnm y el sistema cacao con especies forestales de 15 años a una altitud de 650 msnm (19.3 y 47.2 t ha⁻¹ respectivamente), ambos SAF presentan valores altos que están por encima de los que presentan los sistemas netamente agrícolas de corta duración (áreas perturbadas por tumba y quema), Arroz de 70 días con un promedio 1.7 t ha⁻¹ maíz de 90 días con 4.4 t ha⁻¹ y pasto mejorado de 7 años 2.3 t ha⁻¹ con una altitud promedio de 700 msnm, lo cual nos demuestra la importancia del establecimiento de éstos sistemas para la recuperación del potencial de captura de carbono (LAPEYRE *et al.*, 2004).

2.2. EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

2.2.1. EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol. Como resultado del efecto invernadero, la tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta (CENTRO HADLEY, 2002).

La atmósfera recibe la Radiación procedente del sol y emite longitudes de onda diferentes: radiación ultravioleta (absorbida, en parte, por el ozono estratosférico antes de que llegue a la superficie terrestre), radiación visible que pasa a través de la atmósfera y recibimos en la superficie terrestre como luz, y la radiación infrarroja que cruza la atmósfera y recibimos en forma de calor. Los rayos infra rojos son absorbidos principalmente por el CO₂ y el vapor de agua de la atmósfera. De la radiación que llega a la superficie terrestre, una parte se retiene y la otra se remite a la atmósfera en forma de calor. Este calor es captado de nuevo, por el CO₂ y el vapor de agua atmosférico, generando el denominado efecto invernadero (BATET y ROVIRA, 2002).

Los principales gases producto de la actividad humana, que contribuyen a la amplificación del efecto invernadero, son el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), metano (CH₄), óxidos nitrosos (N₂O), cloro-fluoro-carbonados (CFCS), óxidos de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y el ozono troposférico (O₃) (ANDRASKO 1990, PNUD, 1997).

2.2.2. LA CONVENCION SOBRE EL CLIMA Y EL PROTOCOLO DE KYOTO (PK)

En 1992 en la convención marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), los países del mundo reconocieron el problema del calentamiento global y acordaron hacer esfuerzos para reducirlo. El objetivo de la convención es estabilizar las emisiones de GEI a un nivel que prevenga

las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Se estableció un plazo para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegure que la producción de alimento no esté amenazada y arantice las condiciones para el desarrollo sostenible (GUZMÁN et al., 2006).

Del mismo modo, SALINAS y HERNÁNDEZ (2008), indican que los países conformantes acordaron llevar a cabo acciones contra el cambio climático en sectores como agricultura, industria, energía, recursos naturales y actividades en la zona costeras. También acordaron desarrollar programas nacionales para reducir el cambio climático. La convención reconoce la responsabilidad histórica de las naciones desarrolladas y la economía en transición por la contaminación de la atmósfera. Estos países ofrecen reportar regularmente inventarios actualizados de sus emisiones, mientras tanto los países en desarrollo son animados a reportar sus inventarios de GEI. El protocolo de Kyoto es una adición al documento de la convención en la cual se establecen explícitamente metas cuantitativas de reducción del GEI para un grupo de países comprometidos. La meta es lograr que el total de las emisiones de dichos países alcancen un nivel inferior de no menos del 5% a las del año 1990, en el período de compromiso comprendido entre los años 2008 y 2012 (UNFCCC, 1998).

2.3. SECUESTRO DEL CARBONO EN CAFE

En el Perú existe un enorme potencial para el desarrollo de inversiones del sector forestal con un importante componente de carbono negociable en el mercado internacional. Actividades de forestación y reforestación en zonas degradadas o deforestadas en la costa, sierra y selva; así como el uso de los residuos del aprovechamiento forestal para la producción de energía, son actividades que el FONAM considera de especial interés para la promoción de inversiones (FONAM, 2004).

El proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación (IPARRAGUIRRE, 2000).

Se realizó estudios de cuantificación de carbono en la región Huánuco, provincia Leoncio Prado, distrito de José Crespo y Castillo. Determinando que el cultivo de coca posee la capacidad de almacenar buenas cantidades de carbono aun así, si las plantaciones son jóvenes, en la de un año de edad, encontró valores muy altos (80.4 t ha^{-1}), que están por encima de valores que presentan los sistemas agroforestales de café de tres años (37.7 t ha^{-1}) e inclusive de los sistemas de cacao mejorado de 30 años y cacao tradicional de 35 años, con valores de 3.7 y 3.3 t ha^{-1} respectivamente; el mayor depósito de carbono lo encontramos en la biomasa aérea y esto se da para todos los sistemas de uso de tierra evaluados (RÍOS, 2007).

2.4. CARBONO ALMACENADO

El carbono que está acumulado en un determinado ecosistema vegetal. Toma en cuenta criterios de tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volúmenes por hectárea de inventarios forestales. Dicha cantidad promedio de carbono por hectárea nunca será liberada a la atmósfera, en este caso, un pago por el servicio ambiental de almacenamiento se refiere a un solo pago por la conservación del bosque, evitando un cambio de uso de la tierra en forma permanente como lo son los parques nacionales o zonas de reserva absoluta. El carbono almacenado se expresa en t C ha^{-1} (RAMÍREZ *et al.*, 1994).

Asume que el 45 % de la biomasa vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 67,5 a 171 t/ha (IPARRAGUIRRE, 2000).

2.4.1. BIOMASA

La biomasa o masa biológica, es la masa total de los seres vivos presentes es una determinada área en un momento determinado y suele expresarse en toneladas de materia seca por unidad de superficie o de volumen, de lo que se deduce que se trata de un concepto útil al proporcionar

una orientación sobre la riqueza en materia orgánica que en un determinado momento posee un ecosistema. La cuantificación de la biomasa en un ecosistema, es una tarea relativamente compleja, sobre todo en el estrato superior (IPARRAGUIRRE, 2000).

2.5. CARBONO FIJADO

Se refiere al carbono que una unidad área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijación en un período determinado. El carbono fijado se expresa en $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ (SEGURA, 1997).

En los trópicos el carbono que está en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 $ton\ C\ ha^{-1}$ en bosques primarios, y entre 25 y 190 $ton\ C\ ha^{-1}$ en bosques secundarios. En bosques tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 $ton\ C\ ha^{-1}$. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de carbono en el suelo son considerablemente pequeños. Pero cuando los bosques están maduros no ocurre asimilación neta de carbono, ya que el ecosistema boscoso está saturado con este elemento. Por otro lado, los árboles y su energía biomásica pueden usarse como sustitutos de los combustibles fósiles, pero esta es una meta a largo plazo, debido al hecho de que cuando se queman los árboles se libera carbono a la atmósfera; pero es carbono "reciclado", y no se agrega carbono nuevo (fósil) al sistema (FAO, 1998).

2.5.1. FIJACIÓN DEL CARBONO POR MEDIO DE LOS VEGETALES

Las reacciones de fijación del carbono que ocurren en el estroma, el NADPH y el ATP, producidos en las reacciones de captura de energía, se usan para reducir un compuesto de tres carbonos, el gliceraldehído fosfato. A esta vía en la que el carbono se fija por medio del gliceraldehído fosfato se la denomina vía de los tres carbonos o C_3 . En este caso, la fijación del carbono se lleva a cabo por medio del ciclo de Calvin, en el que la enzima ribulosabifosfato (RuBP) carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con el material de partida, un azúcar de cinco carbonos llamado ribulosabifosfato. En

cada ciclo completo, ingresa una molécula de dióxido de carbono. El número requerido para elaborar dos moléculas de gliceraldehído-fosfato, que equivalen a un azúcar de seis carbonos, son seis vueltas. Se combinan seis moléculas de RuBP, un compuesto de cinco carbonos, con seis moléculas de dióxido de carbono, produciendo seis moléculas de un intermediario inestable que pronto se escinde en doce moléculas de fosfoglicerato, un compuesto de tres carbonos. Estos últimos se reducen a doce moléculas de gliceraldehído fosfato. Diez de estas moléculas de tres carbonos se combinan y se regeneran para formar seis moléculas de cinco carbonos de RuBP. Las dos moléculas "extra" de gliceraldehído fosfato representan la ganancia neta del ciclo de Calvin (SALISBURY, 1999).

2.5.2. FIJACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO

El suelo almacena cantidades considerables de carbono; las prácticas que promueven un aumento del carbono orgánico en el suelo también pueden tener un efecto positivo de fijación de carbono (Stuar y Moura Costa, 2000; citado por MÁRQUEZ, 2000).

Los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a pocos años, dependiendo de la composición bioquímica por ejemplo, la lignina es más estable que la celulosa, a décadas o a más de 1000 años (fracción estable). También hay alguna conexión con la composición, pero principalmente con el tipo de protección o tipo de uniones químicas. Para la fracción del carbono estable se debe hacer una distinción entre la protección física o química o captura. Protección física significa un encapsulado de los fragmentos de la materia orgánica por las partículas de arcilla o por los macro o microagregados del suelo. La protección química se refiere a uniones especiales de la materia orgánica con otros constituyentes del suelo-coloides o arcillas. Sin embargo, el término captura de carbono tal como se usa en el Protocolo de Kyoto no toma en consideración esas distinciones y es equivalente al término almacenamiento de cualquier forma de carbono (CAMBARDELLA, 1998).

Los diferentes grupos de materia orgánica en los suelos son influenciados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos. La agregación del suelo, la textura y mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados y por lo tanto, la labranza tiene un gran efecto sobre el tamaño de esos reservorios. Los otros reservorios son menos afectados por los factores agronómicos pero lo son sobre todo por factores pedológicos microagregación y composición de la arcilla (CAMBARDELLA, 1998).

2.6. REPORTES DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN LA FIJACIÓN DE CARBONO EN CAFÉ BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES

El presente estudio se realizó con el objetivo de estimar el almacén de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con base en café en la región de Huatusco, zona de mayor producción de café (*Coffea arabica* L.) en el estado de Veracruz, México, a fin de obtener información cuantitativa sobre el potencial de mitigación de carbono en los SAF de la región. Para ello, se estimaron los reservorios de carbono en biomasa vegetal y la materia orgánica edáfica existente en sistemas agroforestales de café-plátano, café-macadamia, café-cedro rosado, café-ganado ovino y café-chalahuite, y como referencia de una condición no agroforestal se incluyeron un bosque primario y un potrero con pradera natural. La recolección de muestras se hizo en parcelas de 4 x 25 m (100 m²), donde se colectó biomasa de vegetación herbácea y mantillo, y para el suelo la profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm. Los resultados obtenidos fue el sistema agroforestal que presentó la mayor cantidad de carbono aéreo, estimado con modelos alométricos, fue café-cedro rosado con 114 t C·ha⁻¹, seguido de los sistemas café - macadamia con 34 t C·ha⁻¹; café-chalahuite con 29 t C·ha⁻¹; café-plátano velillo con 27 t C·ha⁻¹; y por último el sistema silvopastoril con 2 t C·ha⁻¹. Para el caso del carbono orgánico del suelo, el tratamiento café con cedro rosado fue el que presentó mayor contenido de carbono fácilmente oxidable en el suelo, con 58 t C·ha⁻¹, y el menor fue el tratamiento potrero (P), con 50 t C·ha⁻¹. Del carbono orgánico total entre los SAF el tratamiento café con cedro rosado fue el que tuvo el mayor

valor con 172 t C·ha⁻¹, y el tratamiento silvopastoril presentó el menor con 65 t C·ha⁻¹. De los sistemas evaluados se concluye que, en promedio, los SAF almacenan 102 t C·ha⁻¹, mientras que el potrero almacena 52 t C·ha⁻¹, y el bosque primario es el sistema que más almacena carbono total, con un valor de 355 t C·ha⁻¹ (ESPINOZA, D., KRISHNAMURTHY, L., VASQUEZ, A., TORRES, R.; 2011).

En el Ecuador se realizaron estudios de Sistema Agroforestal (SAF) de café y cacao, con la finalidad de cuantificar el carbono fijado y almacenado en estos sistemas silvoagrícolas, así como estimar el valor económico del servicio ambiental. Los sistemas agroforestales evaluados, todos de 6.5 años de edad y ubicados en dos zonas agro ecológicas del litoral ecuatoriano; Pichilingue (provincia de Los Ríos) y Caluma (Provincia de Bolívar). Los contenidos de carbono se evaluaron a nivel del suelo (0-30 cm) y necromasa, del componente arbustivo: biomasa aérea de las plantas de café y cacao, y del estrato arbóreo: biomasa de los árboles de guaba, pachaco y laurel. Los resultados señalan que los suelos de Caluma presentaron una mayor capacidad de almacenamiento de C (92.8 t/ha), en comparación a los suelos de Pichilingue (55.4 t/ha). Por el contrario, en Pichilingue se determinó una mayor capacidad de captura de C a nivel de la biomasa aérea (151.6 t C/ha), frente a 84.4 t C/ha de Caluma. Los suelos de los SAF con café y cacao, son depósitos importantes de carbono: 72.5 y 75.7 t C/ha, respectivamente; asimismo, los contenidos de C almacenados en el suelo, son el producto del constante flujo de materia orgánica aportado por la biomasa vegetal. A nivel de la biomasa aérea de los cafetos, se determinó un contenido de 4.12 t C/ha mientras que, en los arbustos de cacao fue 1.80 t C/ha, lo que representa el 2.24% y el 0.92% del contenido total de carbono en los SAF. La asociación de especies forestales de rápido crecimiento, como el pachaco (*Shizolobium parahyba*) con café y cacao en SAF, permite incrementar los contenidos de C a nivel de la biomasa que está determinada por la capacidad de crecimiento de los árboles y su capacidad de almacenamientos de carbono (CORRAL *et al.*, 2006).

En la Reserva indígena de Talamanca, Costa Rica, realizaron una investigación de 25 años, en donde los sistemas de laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C/ha; el laurel fijó entre 80-85% del carbono total en la biomasa. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre 42 y 61 t C/ha en cacaotales arbolados en loma y valle (SEGURA, 2005). Asimismo, ALBRECHT y KANDJI (2003) reportan almacenamientos de carbono similares de 32-102 t C/ha para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica y en cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono entre 10.6 y 12.6 t C/ha a los 4 y 10 años de edad, respectivamente; asimismo, ÁVILA *et al.* (2001) mencionan que los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1.7 y 2.5 t C/ha/año en 25 años y SEGURA (2005) encontró tasas de acumulación de carbono similares de 2.1 y 2.8 t C/ha/año en cacaotales con 100-150 árboles/ha. La máxima tasa de acumulación de carbono se representó en el cuarto año, entre 4.2 y 6.4 t C/ha/año para esparcimientos de 12 m x 12 m en valle y 6 m x 6 m en loma, respectivamente. Este servicio ambiental de secuestro de carbono podría aportar ingresos económicos adicionales a los hogares si se logran vender los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (ORTIZ y RIASCOS, 2006).

Un estudio sobre cuantificar el carbono fijado y almacenado en sistemas agroforestales con café y pastos en Costa Rica. En los sistemas de producción con café se evaluaron los componentes árbol, cafeto, hojarasca y suelo, mientras que en los sistemas de producción con pastos se evaluó la pastura, el árbol y el suelo. Los resultados obtenidos mostraron que en promedio los sistemas agroforestales café-eucalipto almacenaron 40% más carbono que los sistemas silvopastoriles brizanta-eucalipto y brizanta-magnium. En promedio los sistemas agroforestales almacenan más carbono que los sistemas correspondientes a los cultivos a pleno sol, éste comportamiento fue más evidente en los sistemas silvopastoriles. Más del 89% de carbono almacenado en los sistemas de producción estudiados, corresponden al carbono del suelo; éste varó entre el 89.8% (120.92 t C ha⁻¹) en sistemas agroforestales café-eucalipto de 8 años a 99.9% (81.31 t C ha⁻¹) en la pastura natural ratana (*I.*

indicum). En los sistemas de producción con café, el asocio café-poró fue el de mayor almacenamiento de carbono (195 t C ha^{-1}), mientras que el café-eucalipto de 8 años tuvo el más bajo ($120.92 \text{ t C ha}^{-1}$); el café en monocultivo almacenó más carbono que el café de cuatro y ocho años. Considerando el carbono almacenado por los árboles maderables en los sistemas agroforestales con café y los sistemas silvopastoriles, la cantidad de carbono almacenada se encuentra muy cercana y superior a la presentada en plantaciones puras (5.74 t C ha^{-1}), reportadas para el país. Los sistemas agroforestales con café y los sistemas silvopastoriles almacenan el componente arbóreo cantidades elevadas de carbono, por lo que deberían de ser incluidos en la modalidad por pago de servicios ambientales que regula la Ley Forestal de Costa Rica. (CATIE, 2000).

Se evaluó el carbono almacenado en un sistema agroforestal con café, donde los arbustos obtuvieron 0.8 t ha^{-1} , en hojarasca fue de 1.56 t ha^{-1} . Para el café con 7.42 t ha^{-1} , y en el componente arbóreo con 20.17 t ha^{-1} , siendo superior a todos los demás componentes el contenido de carbono en el suelo con 111.24 t ha^{-1} representados por el 0.57, 1.10, 5.26, 14.29 y 78.29% respectivamente. El total de carbono almacenado en el SAF de café es 141.19 t ha^{-1} (ABARCA, 2011).

El presente trabajo de investigación se realizó en cuatro zonas de la provincia de Leoncio Prado (Pumahuasi-Huamancoto, Km 51-Ricardo, Supte-San Jorge y en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); ejecutándose de agosto a diciembre de 2009, los objetivos fueron comparar el contenido de carbono almacenado en los diferentes componentes del SAF cacao. La metodología utilizada para evaluar carbono almacenado fue la de ARÉVALO *et al.*, (2002). La biomasa de las plantas de cacao fue determinada por el diámetro a 30 cm del suelo ($D_{30\text{cm}}$) y para el caso de carbono almacenado en el suelo, se realizó análisis de suelos. Los resultados obtenidos, establecen que los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arborescente, herbácea y hojarasca), son en pequeñas cantidades; siendo para el sistema agroforestal cacao + laurel de 0.53, 1.73,

0.96 y 2.83, 5.14, 2.64 t ha⁻¹ y mayores en biomasa arbórea con 46.98, 62.59 y 79.98 t C ha⁻¹; mientras que en el bosque secundario fue de 0.85, 0.17, 0.41 y 5.24, 5.29, 6.93 t ha⁻¹ y biomasa arbórea con 21.62, 69.35 y 94.75 t C ha⁻¹ en las edades de 9,10 y 11 años respectivamente. Comparando el almacenamiento de carbono total, del sistema agroforestal cacao + laurel respecto al bosque secundario a la prueba de T, fue de 114.51, 137.42, 152.34 y 110.56, 163.80, 198.25 t ha⁻¹ respectivamente; indicando que el SAF no difiere estadísticamente del bosque secundario respecto a la biomasa vegetal y total; en el componente suelo se encontró diferencias entre los diferentes sistemas versus las edades de 9,10 y 11 años respectivamente y el aporte promedio de suelo para el carbono total fue de 53.1% y 44.2% para el bosque secundario y SAF. Respecto al valor económico el sistema más rentable es el SAF cacao + laurel con S/. 1077.69 y de menor rentabilidad el bosque secundario con S/. 330.91 respectivamente (BRINGAS, 2010).

CONNOLLY y COREA (2007), determinó la cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Los resultados obtenidos de la fijación y almacenamiento de carbono en el sistema eco forestal registra un valor promedio de 163.88 t ha⁻¹. Al comparar las cinco fincas estudiadas con respecto a la fuente biomasa aérea, se obtuvo un valor promedio de 16.98 t ha⁻¹, esta fuente está conformada por los componentes árbol, musa y café. Al hacer la comparación de la biomasa aérea de las diferentes especies que componen el sistema, los arboles de sombra obtuvieron el valor más alto con 15.82 t ha⁻¹, este valor atribuido a la altura y diámetro, las musáceas presentan contenido de carbono de 0.020 t ha⁻¹, y el café por su altura y diámetro no supera al contenido de carbono obtenido en los arboles con una valor promedio de 1.14 t ha⁻¹. Según algunos autores, los factores que influyen en la tasa de fijación de carbono dependerán de la especie arbórea y densidad de la siembra, materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, climáticos y el manejo silvicultural (CUBRERO y ROJAS, 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

El trabajo se desarrolló en tres lugares, específicamente en el caserío de Chipaquillo a 1,000 msnm, provincia Dos de Mayo, región Huánuco, cuyo propietario es el señor Juan de la Cruz Espinoza Inga, en el caserío de José María Ugarteche a 1,400 msnm, provincia Leoncio Prado, región Huánuco, cuyo propietario es el señor Nivardo Rosado Rivera y finalmente en el caserío de mayor altitud es Túpac Amaru a 1,800 msnm, provincia Huánuco, región Huánuco, donde el propietario es la señora Margarita Segura Sueldo. Asimismo, hacer de conocimiento que las parcelas señaladas fueron purma baja de 30 años de antigüedad; luego instalaron el cultivo de café cuya variedad evaluada es la caturra amarilla en todas las parcelas de 4 y 7 años de edad.

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las coordenadas UTM en el sistema WGS 84 zona 18 son:

Localidad	Edad	Este	Norte	Altitud (msnm)
Chipaquillo	4 años	346473	8966923	1,143
Chipaquillo	7 años	346468	8968181	1,103
José María Ugarteche	4 años	409380	8984425	1,420
José María Ugarteche	7 años	409324	8984405	1,424
Túpac Amaru	4 años	383305	8939879	1,801
Túpac Amaru	7 años	383222	8939810	1,823

3.1.3. ZONA DE VIDA

Según HOLDRIDGE (1982), Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo premontano subtropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, se encuentra en la zona alta o Rupa Rupa. La latitud sur es de 9° 19' 6.8" y la longitud oeste de 75° 59' 43.5". La altitud es de 660 m.s.n.m.

Los factores climáticos como la temperatura promedio es de 24°C, humedad relativa del 80% y una precipitación media anual de 3,200 mm.; la fisiografía en los tres lugares evaluados es colina baja con una pendiente promedio de 30%.

La hidrografía de las zonas evaluadas presenta una quebrada que recorre al costado de las parcelas, lo cual tiene buen drenaje; la geología de las colinas bajas de los tres caseríos presenta suelo franco arcilloso con una capa de materia orgánica de 10 cm de profundidad.

Las actividades socioeconómicas en los caseríos de Chipaquillo, Túpac Amaru y Ugarteche se dedicaban a la agricultura, específicamente al cultivo de café y coca; en la actualidad vienen trabajando con programas alternativos.

3.1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

3.1.4.1. SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ DE 4 AÑOS DE EDAD (SAF – 4 AÑOS)

El SAF – 4 años está conformado por las siguientes especies: Café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra y guaba (*Inga edulis*). El café tiene un distanciamiento de 2.0 m x 1.50 m y las especies con la que está asociado el café y actúan como sombra, tienen un distanciamiento de 12 m x 12 m para la guaba.

Estas áreas antes de que sean cafetales fueron bosque secundario; y se viene dando un manejo agronómico adecuado ya que son orgánicos (no aplican fertilizantes).

3.1.4.2. SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ DE 7 AÑOS DE EDAD (SAF – 7 AÑOS)

El SAF – 7 años estará conformado por las siguientes especies: café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra y guaba (*Inga edulis*.). El café tiene un distanciamiento de 2.0 m x 1.50 m y las especies con la que está asociado el café y actúan como sombra, tienen un distanciamiento de 12 m x 12 m, los mismos que se encuentran distribuidos irregularmente.

Estas áreas antes de que sean cafetales fueron bosque secundario; no se utilizó abono y los deshierbo son manuales.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Se utilizaron bolsas de polietileno, papel periódico, balanza de precisión, estufa, mufla, cilindros de metal, GPS Garmin Etrex 30X (con barómetro), vernier digital, marco con tubos de plástico de 1 m x 1 m y de 0.5 m x 0.5 m.

3.3. CRITERIOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. MÉTODO DEL ESTUDIO

El estudio correspondió al método inductivo, porque se partió de lo específico a lo general (BERNAL, 2010); vale decir, que primero se inició con el estudio en particular de cada una de los componentes de cada sistema agroforestal consideradas en la investigación, para luego llegar a conclusiones respecto a la capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono en las dos edades y tres gradientes altitudinales.

3.3.2. TIPO DE ESTUDIO

Debido que el estudio se realizó con mediciones planeadas, fue de tipo prospectivo (SUPO, 2014), y se utilizaron datos que se obtuvieron por el propio investigador (datos primarios), es decir, se obtuvo después de su planeación con fines para el trabajo de investigación (PAVÓN y GOGEASCOECHEA, 2010).

3.3.3. NIVEL DE ESTUDIO

El estudio corresponde al nivel explicativo, debido que se plantearon relaciones de causalidad, considerando la variable X_n (edad y gradiente altitudinal) causa u ocasiona la variable Y (biomasa y carbono) de los sistemas agroforestales (SUPO, 2014).

3.3.4. DISEÑO DEL ESTUDIO

Corresponde al diseño Cuasi experimental, debido que los factores considerados en el estudio no se asignaron al azar a los predios ni se emparejaron, sino que dichos sistemas estaban conformados antes del experimento: son grupos intactos (la razón por la que surgen y la manera como se integraron es independiente o aparte del experimento) como lo considera HERNÁNDEZ *et al.* (2014).

3.3.5. POBLACIÓN EN ESTUDIO

La población que se consideró en el estudio refiere a todos los sistemas agroforestales con café que presentan edades de 4 y 7 años, además se encuentren en altitudes promedios de 1,000; 1,400 y 1,800 msnm de la región Huánuco.

3.3.6. MUESTRA

La muestra considerada en el estudio estuvo representada por seis sistemas agroforestales de café que presentaban dos edades y ubicadas en tres gradientes altitudinales.

3.3.7. MUESTREO

El muestreo considerado en el estudio corresponde a un muestreo no probabilístico o dirigido, debido que se dedujo un procedimiento de selección orientado por las características del estudio, más por un criterio estadístico de generalización (HERNÁNDEZ *et al.*, 2014).

3.3.8. VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES (X), constituido por las edades de los sistemas agroforestales con café y la gradiente altitudinal donde se ubicaba dicho sistema.

VARIABLES DEPENDIENTES (Y), representadas por la biomasa y carbono almacenado en los sistemas agroforestales con café.

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. FASE PRECAMPO

Se realizó la ubicación de los tres lugares que se evaluaron, Chipaquillo, Túpac Amaru y José María Ugarteche; buscando parcelas de una hectárea con uniformidad de plantas de café en las edades de 4 y 7 años.

3.4.2. FASE DE CAMPO

Para estimar la cantidad de biomasa almacenada en café se determinó la biomasa de la guaba, café, hojarasca, herbácea y raíces; por ende se aplicó el modelo alométrico desarrollado por SUAREZ (2004).

Para la estimación de carbono almacenado en café se determinó el carbono de biomasa, suelo, frutos de café y se aplicó el modelo desarrollado por JACKSON (1982).

Para correlacionar la cantidad de carbono almacenado con la gradiente altitudinal se aplicó el análisis de correlación de Pearson.

Para determinar la rentabilidad económica se utilizó los siguientes indicadores propuestos por SANTANA (2005): Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Beneficio/Costo (B/C)

3.4.3. SELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

Se trabajó en un sistema agroforestal de café (var. Caturra) para la determinación del almacenamiento de carbono, en las edades de cuatro (04) y siete (07) años y en tres (03) gradientes altitudinales (Figura 1).

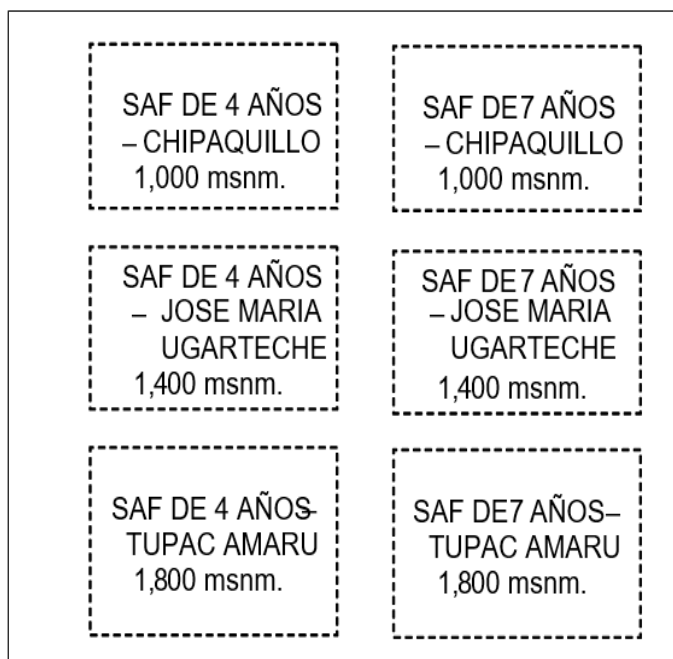


Figura 1. Detalle de las parcelas identificadas para la evaluación de los sistemas agroforestales de café de 4 y 7 años, con las tres gradientes altitudinales.

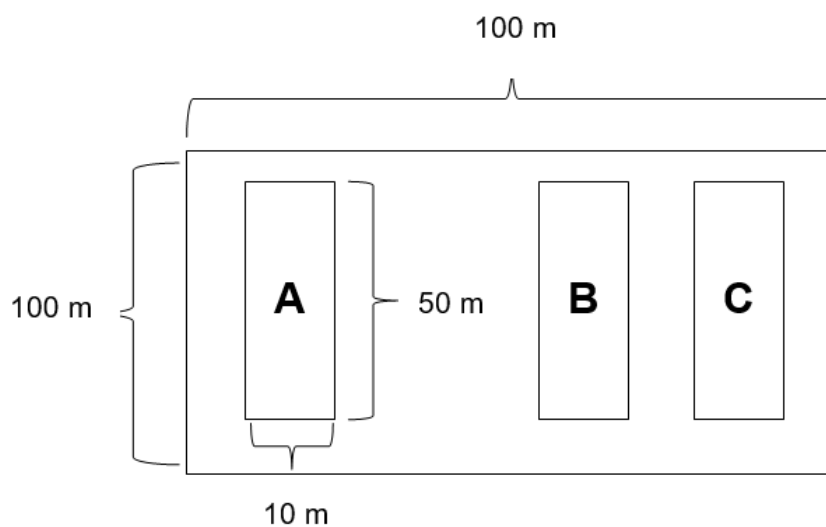


Figura 2. Detalle de las parcelas con sus tres transectos para la evaluación de la biomasa vegetal (modificado de ALEGRE *et al.*, 2002).

Para cada edad, las parcelas fueron de una (01) hectárea cada una y se procedió a delimitarlas, dentro de cada parcela se formaron tres (03) transectos (A, B, y C), cuyas dimensiones de cada transecto fueron de 10 x 50m (Figura 2) para las evaluaciones de guaba y dentro de cada transecto hay un subtransecto cuya dimensión es de 10 x 25 m, para las evaluaciones de biomasa aérea del cultivo de café y muestreo de suelo (Figura 3).

3.4.4. EVALUACIÓN DEL CARBONO DE LA BIOMASA VEGETAL POR EL MÉTODO ALOMÉTRICO

La metodología que se empleó para la evaluación de biomasa vegetal es recomendada por el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ARÉVALO *et al.*, 2002).

3.4.4.1. EVALUACIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL PARA LAS PLANTAS DE CAFÉ

La biomasa arriba del suelo se estimó calculando la densidad de plantación y la biomasa promedio por individuo por componente. Se midió la altura total de las plantas de café y el diámetro del tronco (d), a 15 cm del suelo, en plantas de café con crecimiento normal, es decir que no hayan sido podadas. El diámetro del tronco se obtuvo utilizando un vernier digital y la altura total con una wincha. Para estimar la biomasa de la planta de café, se utilizó uno de los modelos desarrollados por SUAREZ (2004).

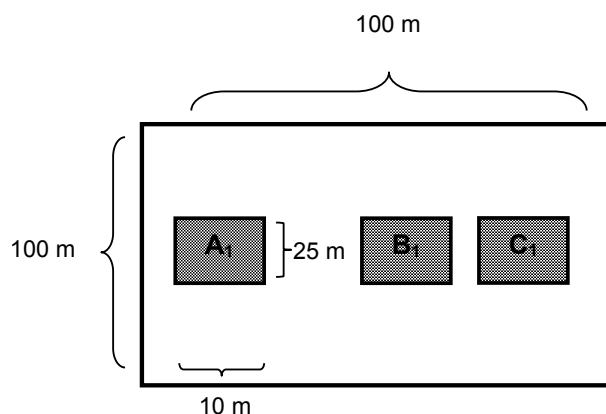


Figura 3. Detalle de las áreas para la evaluación de la biomasa vegetal para el cultivo de café.

3.4.4.2. BIOMASA DE RAÍCES

Para la evaluación de las raíces del café, se realizó una minicalicata de 0.40 m x 0.40 m donde se definieron 3 horizontes (0-10, 10-20 y 20-30 cm), y por cada horizonte se procedió a extraer las raíces del café; para finalmente llevarlo a la estufa a 80°C por 72 horas.

3.4.4.3. BIOMASA EN ÁRBOLES DE GUABA

Se evaluó la arbórea viva con diámetros mayores de 2.5 cm, se trazaron parcelas de 10 m x 50 m, donde se realizó el inventario de todos los árboles de guaba con diámetros de 2.5 cm hasta 30 cm, midiendo el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) en el caso de árboles forestales. El diámetro basal, para el caso del café (*Coffea arabica* L.), se tomó a 15 cm desde el suelo (ALEGRE *et al.*, 2002), mientras que para el componente forestal se evaluó el DAP a 1,30 cm del suelo (Figura 4).

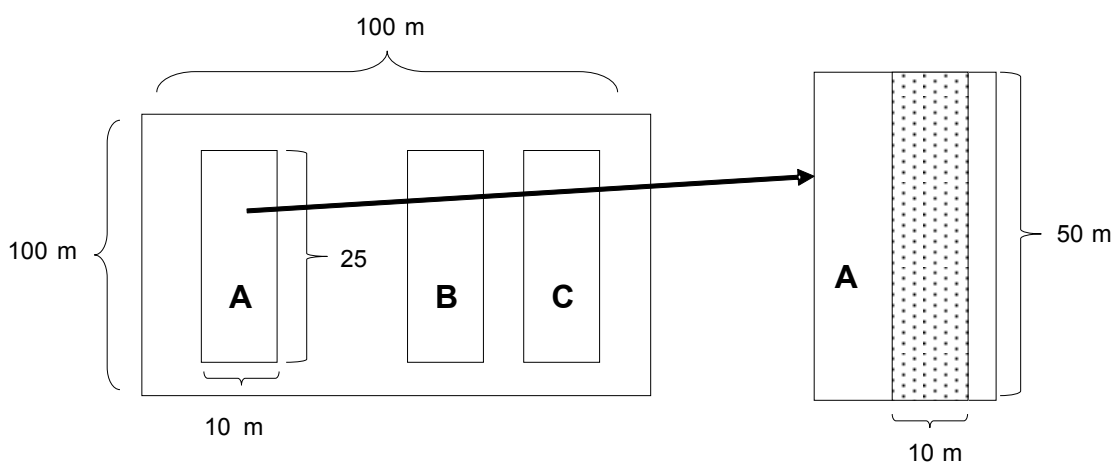


Figura 4. Diseño de las áreas extrapoladas para la evaluación de biomasa vegetal para café al lado izquierdo y el área de la derecha es para los árboles de guaba.

3.4.4.4. BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA

La biomasa arbustiva (BA_b) y herbácea (Hb_h), está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas.

Se realizó la recolección de muestras de material arbustivo y herbáceo. La toma de muestras se efectuó por muestreo directo con dos cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidos al azar dentro de los subtransectos de 10 m x 25 m y 10 m x 50 m.

Se cortó toda la vegetación a nivel del suelo, se pesaron el total de la muestra y se colocó en una estufa de aire caliente a una temperatura inicial de 80 °C durante un periodo de 72 horas hasta que obtuvo peso seco constante.

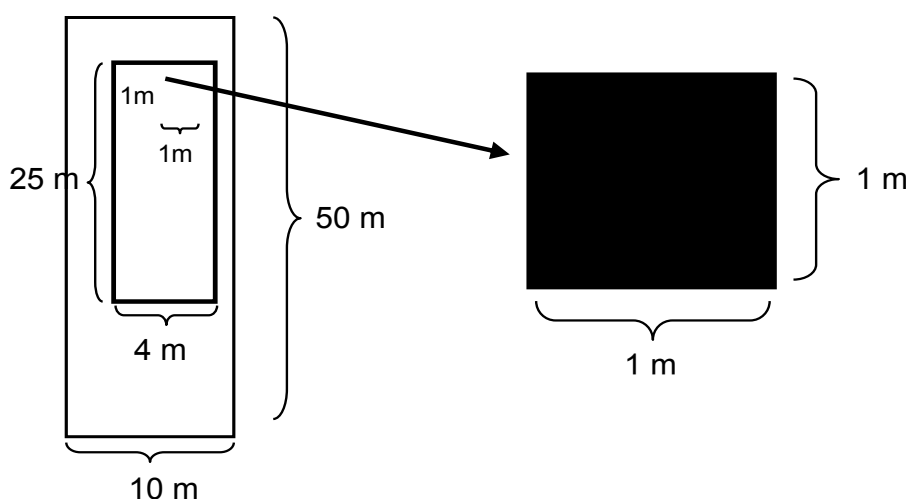


Figura 5. Diseño de las áreas para la evaluación de biomasa arbustiva y herbácea.

3.4.4.5. BIOMASA SECA (HOJARASCA)

Se cuantificó la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas, frutos secos, entre otros), utilizando cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 m x 1 m (Figura 5).

Se colocaron toda la hojarasca en bolsas, registrando su peso fresco total por 0.25 m². De esta se sacaron una sub muestra y se registró su peso y se secó en la estufa a temperatura constante de aire caliente a 80 °C por 72 horas, hasta que obtuvo peso seco constante.

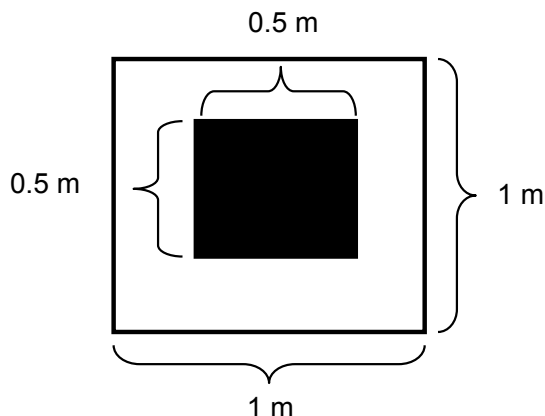


Figura 6. Cuadrantes de 1 m x 1 m para material herbáceo, arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5 m x 0.5 m para hojarasca.

3.4.4.6. BIOMASA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CARBONO EN FRUTOS DE CAFÉ

Para la evaluación de los frutos de café, se cosechó 0.5 kg de café por cada transecto, se llevó a la estufa a 110 °C por 24 horas, luego se procedió a moler y llevarlo a la mufla 2 gramos a 550 °C por 8 horas para finalmente aplicar el modelo desarrollado por BAZAN (1996).

3.4.4.7. MUESTREO DE SUELOS Y MEDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Para la evaluación del carbono total del suelo, se realizó una mini calicata de 0.40 m x 0.40 m en uno de los cuadrantes delimitados para el muestreo de la biomasa herbácea y arbustiva, siendo una calicata para cada transecto, obteniendo un total de 18 calicatas, donde se definieron 3 horizontes (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en cada estrato se colocaron tres (03) cilindros Uhland en forma aleatoria de volumen conocido para estimar la densidad aparente del suelo (ARÉVALO *et al.*, 2002).

Además se tomaron muestras de suelos con 500g en promedio que se codificaron debidamente y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la UNAS para determinar el contenido de carbono por el método de Walkley Black.

3.5. CÁLCULOS

3.5.1. CÁLCULOS DE LA BIOMASA VEGETAL

3.5.1.1. EVALUACIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL PARA LAS PLANTAS DE CAFÉ (t ha⁻¹)

Para la estimación de la biomasa de la planta de café, se utilizó uno de los modelos desarrollados por SUÁREZ (2004):

$$\ln B = -2.39 + 0.95 \ln (D) + 1.27 \ln (H)$$

Donde:

- B : Biomasa del café (kg) por planta.
- Ln : Logaritmo natural.
- D15cm : Diámetro a 15 cm de la base de la planta.
- H : Altura (m).
- Constantes : -2.39; 0.95 y 1.27.

Se calculó la biomasa por parcela, sumando las biomásas de todos los café medidas y registradas (B_{TAV}) en las parcelas de 10 m x 25 m (según el DAP).

$$B_{AVT} \text{ (kg.)} = B_1 + B_2 + \dots + B_n$$

Donde:

- B_{AVT} : Biomasa de plantas de café en kg.
- B : Biomasa de plantas de café.

Para los transectos de 10 m x 25 m

$$B_{AVT} \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ((B_{AVT} \text{ (kg)} / 1000 \text{ kg}) * 10000 \text{ m}^2) / 250 \text{ m}^2$$

Donde:

BAVT : Biomasa de plantas de café en t ha⁻¹.

BTVA : Biomasa total de la parcela.

3.5.1.2. BIOMASA DE RAÍCES

Para la evaluación de las raíces del café, se realizó una minicalicata de 0.40 m x 0.40 m donde se definieron 3 horizontes (0-10, 10-20 y 20-30 cm), y por cada horizonte se procedió a sacar las raíces del café; para finalmente llevarlo a la estufa a 80 °C por 72 horas.

$$BR \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = ((10000 \text{ m}^2 * \text{PSR})/0.16)/1000$$

Donde:

BR : Biomasa de la raíz del café en t ha⁻¹.

PSR : Peso seco de la raíz en kg.

10000 : Constante por una hectárea m².

0.16 : Constante del área del muestreo de las raíces en m²

1000 : Constante para llevarlo a toneladas

3.5.1.3. BIOMASA ÁRBOLES DE GUABA (t ha-1)

Las fórmulas empleadas para la determinación del carbono aéreo y suelo fueron las establecidas por el ICRAF (ARÉVALO *et al.*, 2002).

$$\text{Log}_{10} (\text{BA}) = -0.889 + 2.317(\text{Log}_{10}\text{DAP})$$

Donde:

BA : Biomasa de árboles de guaba (kg).

DAP : Diámetro a la altura del pecho (1.30 cm).

Constantes : -0.889 y 2.317.

Se calculó la biomasa por parcela, sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de 10 m x 50 m (según el DAP).

$$\text{BAVT (kg.)} = \text{BA}_1 + \text{BA}_2 + \dots + \text{BA}_n$$

Donde:

BAVT : Biomasa de árboles en kg.

BA : Biomasa de árboles de guaba.

Para los transectos de 10 m x 50 m

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = ((\text{BAVT (kg)} / 1000 \text{ kg}) * 10000 \text{ m}^2) / 500 \text{ m}^2$$

Donde:

BAVT : Biomasa de árboles vivos en t ha⁻¹.

BTVA : Biomasa total de la parcela.

3.5.1.4. BIOMASA ARBUSTIVA / HERBÁCEA (t ha⁻¹)

$$\text{BAH (t ha}^{-1}\text{)} = [(\text{PSM} / \text{PFM}) \times \text{PFT}] \times 0.01$$

Donde:

BAH : Biomasa arbustiva / herbácea, materia seca (t ha⁻¹).

PSM : Peso seco de la muestra colectada (g).

PFM : Peso fresco de la muestra colectada (g).

PFT : Peso total por metro cuadrado (g).

0.01 : Factor de conversión cuando es de 1 m x 1m.

3.5.1.5. BIOMASA DE LA HOJARASCA (t ha⁻¹)

$$\text{BH (t ha}^{-1}\text{)} = [(\text{PSM} / \text{PFM}) \times \text{PFT}] \times 0.04$$

Donde:

BH : Biomasa de la hojarasca, materia seca (t ha⁻¹).

PSM : Peso seco de la muestra colectada (g).

PFM : Peso fresco de la muestra colectada (g).

PFT : Peso total por metro cuadrado (g).

0.04 : Factor de conversión cuando es de 0.5 m x 0.5 m.

3.5.1.6. CÁLCULOS DE LA BIOMASA VEGETAL TOTAL (t ha⁻¹)

$$BVT \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (B + BA + BAH + BH + BR)$$

Donde:

BVT : Biomasa vegetal total.

B : Biomasa total de los arbustos de café.

BA : Biomasa total de árboles de guaba.

BAH : Biomasa arbustiva y herbácea.

BH : Biomasa de la hojarasca.

BR : Biomasa de raíces

3.5.1.7. CÁLCULO DEL CARBONO TOTAL (BIOMASA VEGETAL)

Para obtener la cantidad total de carbono almacenado se llevó a t/ha el peso seco de la biomasa y se multiplicó por el factor 0.45, proporción de carbono asumido por convención, considerándose que el 45% de la materia seca es C (BROWN y LUGO, 1992).

$$CBV \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = BVT \times 0.45$$

Donde:

CBV : Carbono en la biomasa vegetal.

BVT : Biomasa vegetal total.

0.45 : Constante (proporción de carbono, asumido por convención).

3.5.1.8. CÁLCULO DEL CARBONO TOTAL EN FRUTOS DE CAFÉ

Se determinó el carbono en frutos de café por el método de calcinación, se utilizó uno de los modelos desarrollados por BAZAN (1996).

$$\% \text{ de C.O. (estimado)} = \frac{\text{PMAC} - \text{PMDC}}{\text{PMDC}}$$

Donde:

%CO : Porcentaje de carbono orgánico.

PMAC : Peso de la muestra antes de calentar.

PMDC : Peso de la muestra después de calentar.

3.5.2. CÁLCULO DEL PESO DEL VOLUMEN DEL SUELO (t ha⁻¹)

Se calculó el peso del volumen del suelo por hectárea, evaluando primero la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados.

3.5.2.1. DENSIDAD APARENTE DEL SUELO (g cc⁻¹)

$$DA \text{ (g cc}^{-1}\text{)} = \text{PSN/VCH}$$

Donde:

DA : Densidad aparente (g cc⁻¹).

PSN : Peso seco del suelo dentro del cilindro.

VCH : Volumen cilindro (constante).

3.5.2.2. PESO DEL VOLUMEN DE SUELO POR HORIZONTE DE MUESTREO

$$PVs \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = DA \times Ps \times 10000$$

Donde:

PVs : Peso del volumen de suelo (t ha⁻¹).

DA : Densidad aparente.

Ps : Espesor o profundidad del horizonte del suelo (m).

10000 : Constante.

3.5.3. CÁLCULOS DEL CARBONO TOTAL (BIOMASA VEGETAL AEREA MÁS SUELO)

Viene a ser la suma del carbono de la biomasa vegetal más el carbono del suelo. Se utilizará uno de los modelos desarrollados por JACKSON (1982).

3.5.3.1. CÁLCULO DEL CARBONO EN LA BIOMASA VEGETAL AEREA TOTAL (t ha⁻¹)

$$CBV \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = BVT \times 0.45$$

$$CBVA \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = CBV + CF$$

Donde:

CBV : Carbono en la biomasa vegetal.

BVT : Biomasa vegetal total.

0.45 : Constante (proporción de carbono, asumido por convención).

CBVA : Carbono en la biomasa vegetal aérea.

CF : Carbono en el fruto de café.

3.5.3.2. CÁLCULO DEL CARBONO EN EL SUELO (t ha⁻¹)

$$CS \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (PVs \times \%C)/100$$

Donde:

- CS : Carbono en el suelo (t ha⁻¹).
- Pvs : Peso del volumen de suelo.
- % C : Porcentaje de carbono analizado en laboratorio.
- 100 : Factor de conversión.

3.5.3.3. CÁLCULO DEL CARBONO TOTAL DEL SISTEMA DE UNIDAD DE TIERRA (SUT)

$$CT \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = CBVA + CS$$

Donde:

- CT : Carbono total del sistema agroforestal.
- CBVA : Carbono en la biomasa vegetal aérea total.
- CS : Carbono en el suelo.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

El diseño estadístico considerado para el estudio fue el diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de la forma 2E x 3G, en donde los factores fueron:

- Factor edad (E) de los sistemas agroforestales con café, cuyos niveles correspondieron a cuatro años (e₁) y siete años (e₂).
- Factor gradiente altitudinal (G) donde se ubicaron los sistemas agroforestales con café, cuyos niveles correspondieron a 1,000 msnm (g₁); 1,400 msnm (g₂) y 1,800 msnm (g₃).

Para la contrastación de hipótesis se realizó el análisis de la varianza (ANVA) donde se obtuvo los efectos principales y la interacción estadística. Posteriormente, con la finalidad de determinar el mejor agroecosistema sobre el carbono almacenado, se realizó la prueba de comparación de medias de Duncan a un nivel de confianza del 95% y con un 5% de error.

En caso de buscar influencia de las edades (solo dos grupos) en los sistemas agroforestales, se tuvo que realizar la prueba T para muestras independientes.

Con los análisis realizados, se procedió a elaborar cuadros y figuras a las cuales se les interpretaron para plasmarlo en el informe final.

3.7. RENTABILIDAD ECONÓMICA

Para la evaluación económica del estudio se utilizó los siguientes indicadores propuestos por SANTANA (2005):

3.7.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Para el cálculo del VAN, se utilizó la siguiente ecuación:

$$VAN = -I + \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j}$$

Donde:

- I = Inversión realizada en el periodo cero.
- R_j = Ingresos generados por la inversión en el periodo j.
- C_j = Costos operacionales en el periodo j.
- j = Periodo.
- n = Vida útil del proyecto.
- i = Tasa de oportunidad (tasa de interés).

3.7.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para el cálculo de la TIR, se utilizó la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+r)^j} - I$$

Si la tasa de interés “r” (en la fórmula) es una tasa cuyo valor hace que el VAN = 0, entonces “r” viene hacer la Tasa Interna de Retorno (TIR).

3.7.3. BENEFICIO - COSTO (B/C)

Para el cálculo del B/C, se utilizó la siguiente ecuación:

$$R(B/C) = \frac{VPR_j - VPC_j}{VPI_j} > 1$$

Donde:

VPR_j= Sumatoria del valor presente de los ingresos para cada año (j= 0, 1, 2, 3,...n) del período actualizado.

VPC_j= Sumatoria del valor presente de los costos totales incurridos en cada año del período de análisis.

VPI_j= Sumatoria del valor presente del capital invertido en cada del período de análisis considerado.

IV. RESULTADOS

4.1. BIOMASA ALMACENADA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Coffea arabica* L. “CAFÉ” EN PRODUCCIÓN DE 4 Y 7 AÑOS Y EN TRES GRADIENTES ALTITUDINALES

4.1.1. BIOMASA EN LA ZONA DE CHIPAQUILLO A 1,000 msnm

La biomasa vegetal del sistema agroforestal de café en la zona de Chipaquillo de dos edades y tres transectos, donde la plantación de 7 años tuvo en promedio 28.31 t ha⁻¹ de biomasa total siendo numéricamente mayor a la plantación de 4 años, que tuvo 26.17 t ha⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de Chipaquillo.

Edad	Biomasa vegetal en la zona de Chipaquillo (t ha ⁻¹)						
	Tran	B	BA	BH	BAH	BR	BVT
4 años	A	0.58	10.39	13.20	0.66	1.45	26.28
	B	0.83	9.27	13.08	1.40	0.72	25.30
	C	1.02	10.78	12.11	1.34	1.68	26.93
	Media ± DE	0.81 ± 0.22	10.15 ± 0.78	12.80 ± 0.60	1.13 ± 0.41	1.28 ± 0.50	26.17 ± 0.82
C.V. (%)		26.96	7.72	4.65	36.07	39.15	3.14
7 años	A	2.45	5.20	9.66	0.42	0.79	18.53
	B	2.91	8.98	11.58	0.58	2.42	26.47
	C	3.72	18.63	13.72	0.42	2.44	38.93
	Media ± DE	3.02 ± 0.64	10.94 ± 6.92	11.65 ± 2.03	0.47 ± 0.09	1.89 ± 1.33	27.98 ± 10.23
CV (%)		21.17	63.31	17.43	19.59	59.80	36.12

B	:	Biomasa arbórea de café
BA	:	Biomasa de Guaba
BH	:	Biomasa de hojarasca
BAH	:	Biomasa arbustiva y herbácea
BR	:	Biomasa de raíces
BVT	:	Biomasa vegetal total
DE	:	Desviación estándar
CV	:	Coficiente de variabilidad

La biomasa arbórea de café (B) en las dos edades de la zona de Chipaquillo muestra que la plantación de 4 años (0.81 t ha^{-1}) es menor a la de 7 años (3.02 t ha^{-1}), esta diferencia entre las plantaciones es por la edad de las plantaciones (Anexo 30, 31).

La biomasa de guaba (BA) en las dos edades muestra que la plantación de 7 años tuvo 10.94 t ha^{-1} y la plantación de 4 años 10.15 t ha^{-1} ; aquí se observa una pequeña diferencia de la biomasa en las dos edades debido posiblemente a que la guaba es sembrado para sombra temporal de las plantas de café y no sean afectados por los rayos solares, los cuales le produciría marchitamiento a las plantas de café y además porque el cultivo de café necesita bajas temperaturas y en la zona de Chipaquillo la temperatura varía de 18 a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Anexo 36, 37).

En la biomasa de hojarasca (BH) para los sistemas agroforestales, observamos que la plantación con una edad de 4 años registró 12.80 t ha^{-1} , la cual es mayor que la plantación de 7 años que solo tuvo 11.65 t ha^{-1} , debido posiblemente a que la plantación joven está en constante crecimiento y desarrollo con lo cual hay mayor brotamiento de hojas de café y guaba, lo que conlleva a que las hojas viejas caigan en mayor cantidad por el mismo cambio de follaje de las plantas (Anexo 48, 49).

La biomasa arbustiva (BAH) en las dos edades muestran que la plantación con una edad de 7 años (0.47 t ha^{-1}) registró menor valor promedio que la de 4 años (1.13 t ha^{-1}), esta diferencia se debe posiblemente a que la plantación joven tiene mayor cobertura vegetal, esto se debe a que la plantación adulta tiene mucha sombra y evita el crecimiento de las plantas herbáceas (Anexo 42, 43).

La biomasa de raíces (BR) en las dos edades indican que en la plantación de 4 años tuvo 1.28 t ha^{-1} siendo menor que la biomasa de la plantación de 7 años que obtuvo 2.22 t ha^{-1} ; esta diferencia entre ambas edades se debe a la edad de la planta, a mayor edad será mayor su sistema radicular (Anexo 54, 55).

4.1.2. BIOMASA EN LA ZONA DE JOSÉ MARÍA UGARTECHE A 1,400 msnm

La biomasa vegetal del sistema agroforestal de café en la zona de José María Ugarteche de dos edades y tres transectos, donde la plantación de 4 años tuvo en promedio 73.16 t ha⁻¹ de biomasa total siendo numéricamente mayor a la plantación de 7 años, que tuvo 36.06 t ha⁻¹ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de José María Ugarteche.

Edad	Biomasa vegetal en la zona de José María Ugarteche (t ha ⁻¹)						
	Tran	B	BA	BH	BAH	BR	BVT
4 años	A	2.43	26.72	27.92	1.77	4.26	63.10
	B	2.41	45.40	26.50	0.37	1.73	76.41
	C	2.95	52.18	22.72	0.84	1.28	79.98
Media ± DE		2.60 ± 0.31	41.44 ± 13.19	25.72 ± 2.68	1.00 ± 0.71	2.42 ± 1.61	73.16 ± 8.89
CV (%)		11.81	31.82	10.44	77.67	66.45	12.16
7 años	A	4.77	5.18	10.24	1.55	2.23	23.97
	B	5.96	26.32	12.07	1.42	1.69	47.47
	C	5.24	14.80	13.25	2.07	1.39	36.74
Media ± DE		5.32 ± 0.60	15.43 ± 10.59	11.85 ± 1.52	1.68 ± 0.34	1.77 ± 0.42	36.06 ± 11.77
CV (%)		11.21	68.59	12.80	20.47	23.96	32.63

B	:	Biomasa arbórea de café.
BA	:	Biomasa de guaba.
BH	:	Biomasa de hojarasca.
BAH	:	Biomasa arbustiva y herbácea.
BR	:	Biomasa de raíces.
BVT	:	Biomasa vegetal total.
DE	:	Desviación estándar.
CV	:	Coefficiente de variabilidad.

La biomasa arbórea de café (B) en las dos edades de la zona de José María Ugarteche muestra que la plantación de 4 años (2.60 t ha⁻¹) es menor a la de 7 años (5.32 t ha⁻¹), esta diferencia entre las plantaciones es por la edad de las plantaciones (Anexo 26, 27).

La biomasa de guaba (BA) que se establecieron como sombra en los sistemas agroforestales con dos edades, muestra que la plantación de 4

años presentó 41.44 t ha^{-1} y la plantación de 7 años 15.43 t ha^{-1} ; aquí se observa una gran diferencia de la biomasa en las dos edades debido que el agricultor raleó la guaba para evitar el exceso de sombra y por consiguiente la humedad y la alta incidencia en el ataque de plagas y enfermedades en la plantación adulta (Anexo 32, 33).

En la biomasa de hojarasca (BH) observamos que el agroecosistema con una edad de 4 años alcanzó 25.72 t ha^{-1} , la cual es mayor que la plantación de 7 años que solo tuvo 11.85 t ha^{-1} , debido posiblemente a que la plantación joven está en constante crecimiento y desarrollo con lo cual hay mayor brotamiento de hojas de café y guaba, lo que conlleva a que las hojas viejas caigan en mayor cantidad (Anexo 44, 45).

La biomasa arbustiva (BAH) en las dos edades muestran que la plantación de una edad de 7 años (1.68 t ha^{-1}) es ligeramente mayor a la plantación de 4 años (1.00 t ha^{-1}), esta diferencia se debe posiblemente a que la plantación joven tiene menor cobertura vegetal, esto gracias a que el agricultor le da mayor cuidado a la plantación joven que está en las primeras etapas de producción que a la plantación con mayor tiempo en el campo de cultivo (Anexo 38, 39).

La biomasa de raíces (BR) en las dos edades de los sistemas agroforestales con café, indican que en la plantación de 4 años registró un promedio de 2.42 t ha^{-1} de biomasa, siendo mayor que la biomasa de la plantación de 7 años que obtuvo 1.77 t ha^{-1} ; esta diferencia entre ambas edades se debe a que existe mortandad en la plantación adulta y poco desarrollo de su sistema radicular (Anexo 50, 51).

4.1.3. BIOMASA EN LA ZONA DE TUPAC AMARU A 1,800 msnm

La biomasa vegetal del sistema agroforestal de café en la zona de Túpac Amaru de dos edades y tres transectos, donde la plantación de 7 años tuvo en promedio 46.26 t ha^{-1} de biomasa total, siendo numéricamente mayor que la plantación de 4 años, que obtuvo un promedio de 45.70 t ha^{-1} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa vegetal almacenada en el sistema agroforestal de café de la zona de Túpac Amaru.

Edad	Biomasa vegetal en la zona de Túpac Amaru (t ha ⁻¹)						
	Tran	B	BA	BH	BAH	BR	BVT
4 años	A	1.38	30.34	11.23	0.75	0.94	44.64
	B	0.96	33.64	10.46	0.32	4.82	50.19
	C	0.99	24.66	12.34	0.56	3.73	42.28
Media ± DE		1.11 ± 0.24	29.55 ± 4.54	11.34 ± 0.95	0.54 ± 0.21	3.16 ± 2.00	45.70 ± 4.06
CV (%)		21.51	15.37	8.34	39.71	63.31	8.89
7 años	A	2.49	18.87	14.62	0.78	4.22	40.99
	B	1.88	33.78	15.29	0.54	3.16	54.64
	C	2.00	21.71	15.76	0.88	2.83	43.17
Media ± DE		2.12 ± 0.33	24.79 ± 7.91	15.22 ± 0.57	0.73 ± 0.18	3.40 ± 0.73	46.26 ± 7.33
CV (%)		15.38	31.93	3.74	24.08	21.37	15.85

B	:	Biomasa arbórea de café.
BA	:	Biomasa de guaba.
BH	:	Biomasa de hojarasca.
BAH	:	Biomasa arbustiva y herbácea.
BR	:	Biomasa de raíces.
BVT	:	Biomasa vegetal total.
DE	:	Desviación estándar.
CV	:	Coefficiente de variabilidad.

La biomasa arbórea de café (B) en las dos edades de la zona de Túpac Amaru muestra que la plantación de 4 años (1.11 t ha⁻¹) es menor a la de 7 años (2.12 t ha⁻¹), esta diferencia entre las plantaciones es por la edad de las plantaciones (Anexo 28, 29).

La biomasa de guaba (BA) en las dos edades muestra que la plantación de 4 años tuvo 29.55 t ha⁻¹ y la plantación de 7 años 24.79 t ha⁻¹; aquí se observa una ligera diferencia de la biomasa en las dos edades debido posiblemente a que la guaba es sembrado para sombra temporal a mayor densidad para las plantas de café y no sean afectados por los rayos solares, los cuales le produciría marchitamiento a las hojas afectando la producción del café en la siguiente campaña (Anexo 34, 35).

En la biomasa de hojarasca (BH) para los sistemas agroforestales, observamos que la plantación de 7 años tuvo 15.22 t ha⁻¹, la cual es mayor que la plantación de 4 años que solo tuvo 11.34 t ha⁻¹, debido posiblemente a que la plantación mayor tiene mayor brotamiento de hojas de la guaba y café, además en este caserío el ataque de roya amarilla (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) fue mínimo (Anexo 46, 47).

La biomasa arbustiva (BAH) teniendo en consideración las dos edades, muestran que la plantación de 7 años (0.73 t ha⁻¹) es ligeramente mayor a la plantación de 4 años (0.54 t ha⁻¹), esta diferencia se debe posiblemente a que la plantación joven tiene menor cobertura vegetal, esto gracias a que el agricultor le da mayor cuidado a la plantación joven que está en las primeras etapas de producción que a la plantación con mayor tiempo en el campo de cultivo (Anexo 40, 41).

La biomasa de raíces (BR) considerando las dos edades de establecimiento, indican que en la plantación de 4 años tuvo 3.16 t ha⁻¹ siendo ligeramente menor el promedio que la biomasa de la plantación con 7 años de edad que obtuvo 3.40 t ha⁻¹; esta diferencia entre ambas edades se debe a la edad de las plantas que la componen, a mayor edad será mayor su sistema radicular (Anexo 52, 53).

4.2. CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Coffea arábica* L. “CAFÉ” DE DOS EDADES Y EN TRES GRADIENTES ALTITUDINALES

4.2.1. CARBONO DE LA BIOMASA VEGETAL

El factor edad de los sistemas agroforestales y la ubicación de la gradiente altitudinal tuvo efectos estadísticos significativos sobre el carbono de la biomasa vegetal, en caso de las combinaciones, se determinó interacción estadística entre los dos factores considerados en el estudio que influenciaron sobre el carbono.

En caso de los datos obtenidos para el carbono almacenado en la biomasa vegetal, se determinó que buena dispersión de los datos, debido a que el coeficiente de variación alcanzada fue 18.99 %, existiendo diferencias significativas entre la altitud y la edad. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Altitud	475.894	2	237.947	17.936	<0.001*
Edad	119.821	1	119.821	9.032	0.011*
Altitud * Edad	299.833	2	149.916	11.301	0.002*
Error del estudio	159.196	12	13.266		
Total	1054.743	17			

CV: 18.99 %.

Los sistemas agroforestales ubicado a 1,400 y 1,800 msnm registraron mayor carbono de la biomasa vegetal que 1,000 msnm (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Mérito	Altitud (msnm)	CBV (t ha ⁻¹)	Significancia
1	1,400	24.58	a
2	1,800	20.69	a
3	1,000	12.26	b

Letras diferentes indican significancia estadística.

Teniendo en consideración la edad, se determinó mayor biomasa vegetal en café en la edad de cuatro años en comparación a los de siete años (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Mérito	Edad de establecido (años)	CBV (t ha ⁻¹)	Significancia
1	4,0	21.76	a
2	7,0	16.60	b

En el análisis de influencia simple (prueba T y ANVA), se encontró diferencias estadísticas en la fuente altitud de 1,800 msnm y las edades de los sistemas, además en el ANVA de la edad de cuatro años con la gradiente altitudinal para el carbono de la biomasa vegetal (Cuadro 7).

Cuadro 7. Influencia simple de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Fuente de variación	SC y/o prueba t	GL	CM	Fc	Significancia
a1 en B	-.361	4.000			0.736 ^{ns}
a2 en B	4.357	4.000			0.012*
a3 en B	-.116	4.000			0.913 ^{ns}
A en b1	677.182	2.000	338.591	52.105	<0.001*
A en b2	98.545	2.000	49.272	2.459	0.166 ^{ns}

No se registró diferencias de los niveles de A en el factor B.

Cuadro 8. Influencia de los niveles altitudinales y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Edad (años)	1,000 msnm	1,400 msnm	1,800 msnm
4,0	11.78 ^a	32.92 ^a	20.57 ^a
7,0	12.74 ^a	16.23 ^b	20.82 ^a

El agroecosistema ubicada a una altura de 1,400 msnm y con una edad de cuatro años alcanzó mayor carbono vegetal (Cuadro 9).

Cuadro 9. Influencia de la altitud y los niveles de edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

Altitud (msnm)	A en b1	Significancia	A en b2	Significancia
1,000	11.78	c	12.74	a
1,400	32.92	a	16.23	a
1,800	20.57	b	20.82	a

El carbono en la biomasa vegetal fue superior en el sistema agroforestal constituido por una edad de cuatro años y ubicada a una altitud de 1,400 msnm que registró un valor promedio de 32.92 t ha⁻¹, mientras que el menor valor promedio lo registró el sistema agroforestal con la misma edad (cuatro años) pero ubicada en la gradiente altitudinal de 1,000 msnm que alcanzó una media de 11.78 t ha⁻¹ (Figura 7).

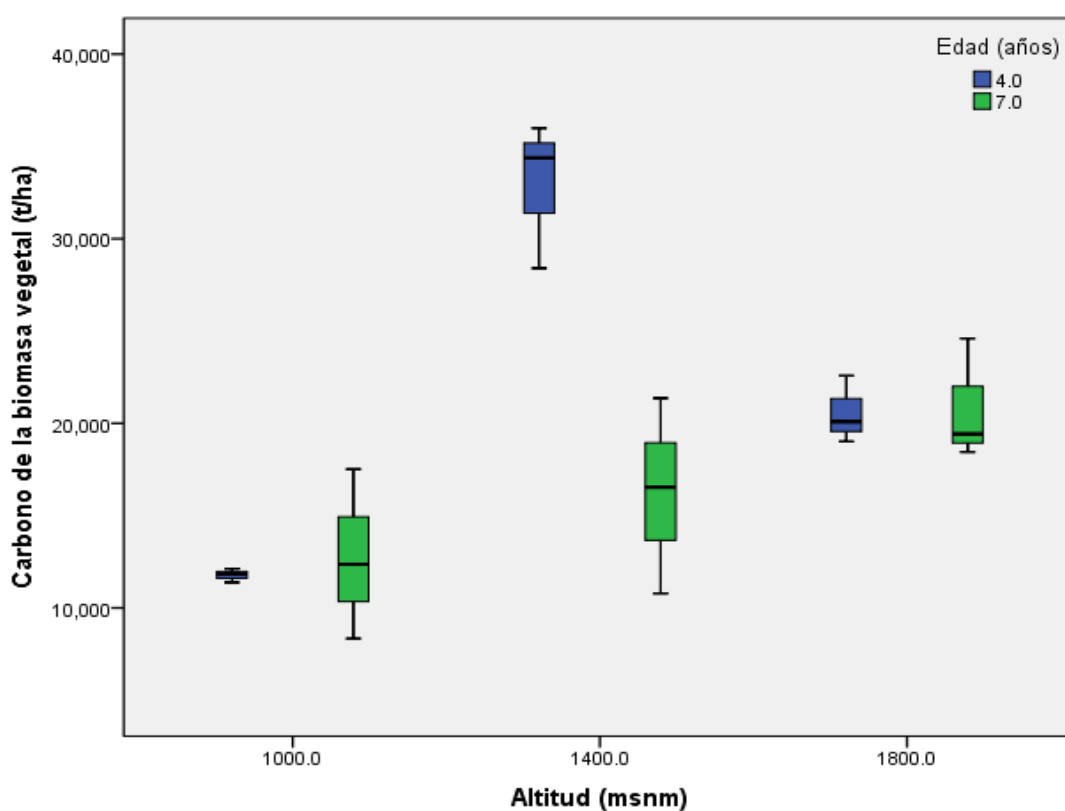


Figura 7. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono de la biomasa vegetal.

4.2.2. CARBONO EN EL SUELO

Del análisis de la varianza se determina que los factores considerados como gradiente altitudinal y la edad de los sistemas agroforestales no presentaron diferencias estadísticas significativas respecto al contenido de carbono edáfico; de manera contraria, se encontró interacción estadística entre los niveles de altitud de cada factor en estudio.

Los datos obtenidos de los diferentes muestreos de suelos realizados registraron regular dispersión de los datos debido a que el coeficiente de variación obtenido fue de 24.77% (Cuadro 10).

Cuadro 10. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono edáfico.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Altitud	4835.930	2	2417.965	10.440	0.002*
Edad	358.406	1	358.406	1.548	0.237 ^{ns}
Altitud * Edad	276.358	2	138.179	0.597	0.566 ^{ns}
Error del estudio	2779.211	12	231.601		
Total	8249.904	17			

CV: 24.77 %.

Estadísticamente, se registró mayor carbono edáfico en los gradientes de 1,000 en comparación a las gradientes altitudinales de los 1,400 y 1,800 msnm (Cuadro 11, Figura 8 y Anexo 56-58).

Cuadro 11. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono edáfico.

Mérito	Altitud (msnm)	CS (t ha ⁻¹)	Significancia
1	1,000	38.28	b
2	1,400	73.55	a
3	1,800	72.52	a

Numéricamente, los sistemas agroforestales establecidos a una edad de siete años registraron mayor contenido de carbono edáfico (Cuadro 12, Figura 8 y Anexo 56-58).

Cuadro 12. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono edáfico.

Mérito	Edad de establecido (años)	CS (t ha ⁻¹)	Significancia
1	7,0	56.99	a
2	4,0	65.91	a

Letras diferentes indican significancia estadística.

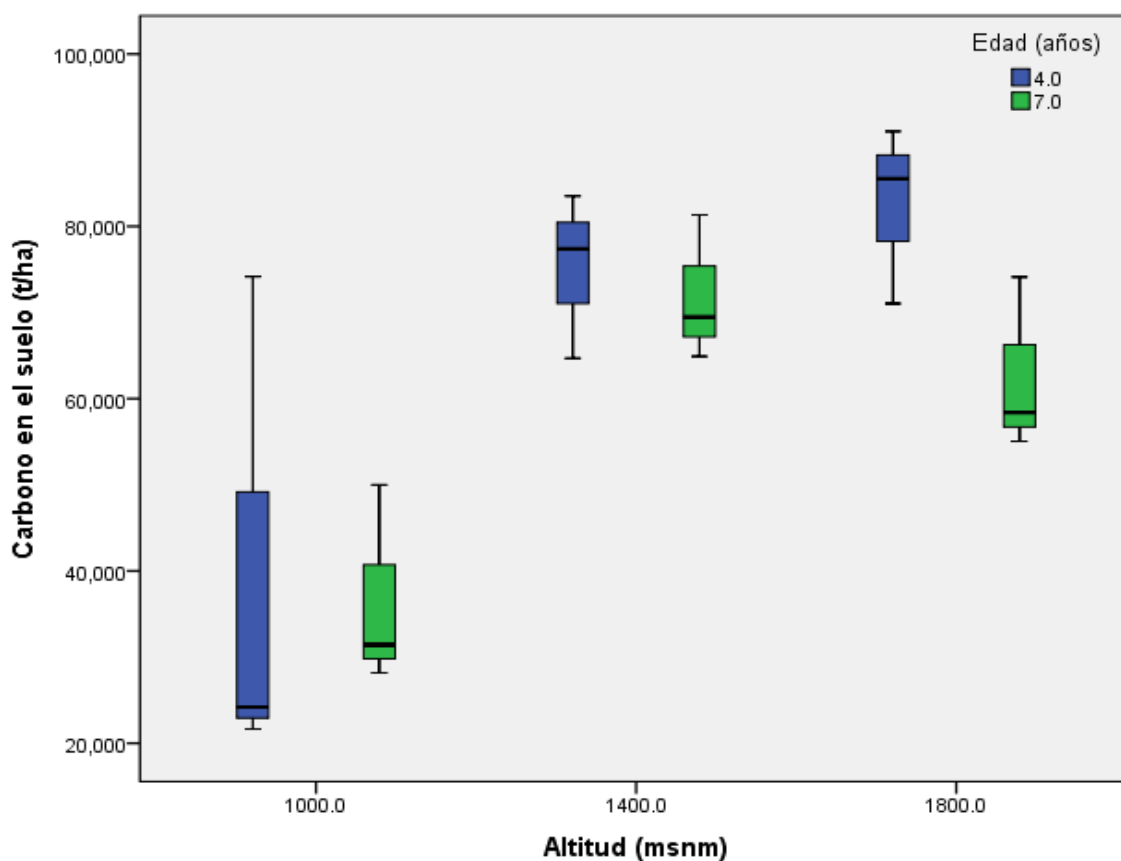


Figura 8. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono en el suelo.

4.2.3. CARBONO EN EL FRUTO DEL CAFÉ

Se registró influencia estadística significativa de los factores gradiente altitudinal y edad de los sistemas agroforestales sobre el carbono en el fruto del café; además, hubo interacción estadística entre los dos factores en estudio. Los resultados respecto al carbono del fruto presentaron excelente dispersión de los datos por presentar un coeficiente de variación del 0.49%, la cual se atribuye a que la determinación de dichos resultados se realizó bajo condiciones de laboratorio (Cuadro 13).

Cuadro 13. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Altitud	0.004	2	0.0019	6459.608	<0.001*
Edad	0.000	1	0.0005	1682.374	<0.001*
Altitud * Edad	0.001	2	0.0003	927.545	<0.001*
Error del estudio	0.000	12	0.0000		
Total	0.005	17			

CV: 0.49 %.

Teniendo en consideración los gradientes altitudinales, se registró mayor cantidad de carbono en los frutos de café a 1,400 msnm por registrar una media de 0.132 t ha⁻¹ (Cuadro 14 y Anexo 59).

Cuadro 14. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono del fruto de café.

Mérito	Altitud (msnm)	CFC (t ha ⁻¹)	Significancia
1	1,400	0.129	a
2	1,800	0.103	b
3	1,000	0.095	c

Letras diferentes indican significancia estadística.

Considerando la edad de los sistemas agroforestales, se calculó que la biomasa en los frutos del café fue mayor a una edad de cuatro años de establecido con una media de 0.115 t ha^{-1} en comparación a los frutos procedentes de los que presentaban una edad de siete años que alcanzaron 0.104 t ha^{-1} (Cuadro 15 y Anexo 59).

Cuadro 15. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono del fruto de café.

Mérito	Edad de establecido (años)	CFC (t ha^{-1})	Significancia
1	4,0	0.115	a
2	7,0	0.104	b

Letras diferentes indican significancia estadística.

En el análisis de la varianza y la prueba T realizado para determinar la influencia simple (comparación de cada nivel con los factores), se determinó que todos los niveles presentaron influencia estadística significativa respecto al contenido de carbono en el fruto del café, la cual asevera que hubo efectos de las combinaciones entre los niveles de cada factor considerado en el estudio (Cuadro 16).

Cuadro 16. Influencia simple de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.

Fuente de variación	SC y/o prueba t	GL	CM	Fc	Significancia
a1 en B	-4.229	2.246			0.042*
a2 en B	32.132	4.000			<0.001*
a3 en B	58.342	4.000			<0.001*
A en b1	0.002	2.000	0.001	5682.641	<0.001*
A en b2	0.002	2.000	0.001	2556.854	<0.001*

Teniendo en consideración los gradientes altitudinales, se determinó que los sistemas agroforestales ubicadas a 1,400 msnm registraron mayor carbono en el fruto del café cuando presentaron una edad de cuatro años de establecido (Cuadro 17 y Figura 9).

Cuadro 17. Influencia de los niveles altitudinales y la edad sobre el carbono del fruto de café.

Edad (años)	1,000 msnm	1,400 msnm	1,800 msnm
4,0	0.09 ^b	0.13^a	0.12^a
7,0	0.10^a	0.12 ^b	0.09 ^b

Considerando al factor edad los sistemas agroforestales, se corrobora que a mayor cantidad de carbono en el fruto del café se alcanzó a cuatro años y a una altitud de 1,400 msnm (Cuadro. 18, Figura. 9 y Anexo 59).

Cuadro 18. Influencia de la altitud y los niveles de edad sobre el carbono del fruto de café.

Altitud (msnm)	A en b1	Significancia	A en b2	Significancia
1,000	0.09	c	0.10	b
1,400	0.13	a	0.12	a
1,800	0.12	b	0.09	c

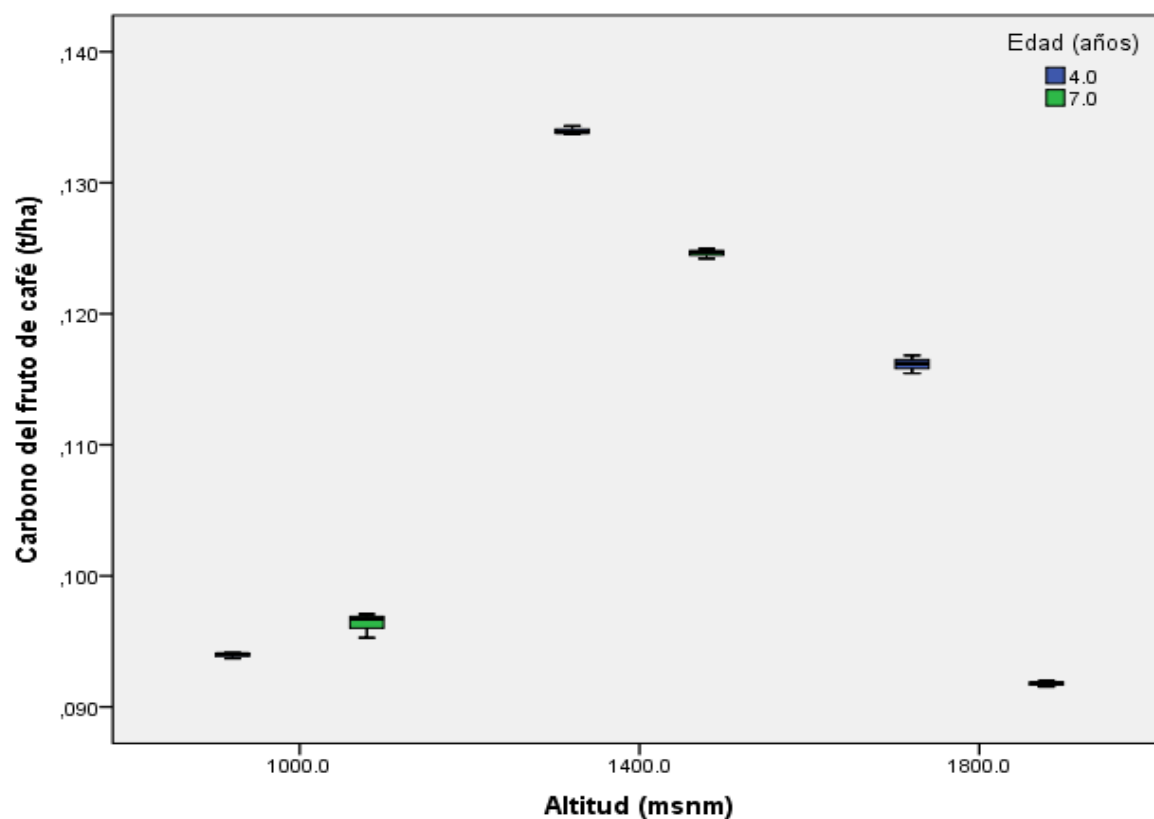


Figura 9. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono del fruto.

4.2.4. CARBONO TOTAL (CT)

Los factores considerados en estudio no presentaron diferencias estadísticas significativas sobre el contenido de carbono total para los sistemas agroforestales, mientras que si se ha notado interacción estadística entre los niveles de cada factor: Los resultados registraron buena dispersión de los datos debido a que el coeficiente de variación fue 16.81% (Cuadro 19).

Cuadro 19. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	Sig.
Altitud	2186.940	2	1093.470	5.939	0.016*
Edad	1320.809	1	1320.809	7.174	0.020*
Altitud * Edad	135.759	2	67.880	0.369	0.699 ^{ns}
Error del estudio	2209.313	12	184.109		
Total	5852.821	17			

CV: 16.81 %.

Estadísticamente, se registró mayor contenido de carbono total en el sistema agroforestal ubicada a 1,400 y 1,800 msnm con valores promedios de 90.23 y 86.64 t ha⁻¹, mientras que el menor valor promedio alcanzado se encontró a una altitud de 1,000 msnm con una media de 65.26 t ha⁻¹ (Cuadro 20 y Anexo 60).

Cuadro 20. Prueba Duncan para la influencia de la altitud sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.

Mérito	Altitud (msnm)	CT (t ha ⁻¹)	Significancia
1	1,000	65.26	b
2	1,400	90.23	a
3	1,800	86.64	a

Letras diferentes indican significancia estadística.

En caso del análisis estadístico (comparación de medias), se registró mayor contenido promedio de carbono total en los sistemas agroforestales que presentaron siete años de establecido que obtuvo un valor de 89.28 t ha^{-1} , el cual fue superior a los sistemas agroforestales con siete años de establecido que alcanzó un valor de 72.14 t ha^{-1} (Cuadro 21 y Anexo 60).

Cuadro 21. Prueba Duncan para la influencia de la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.

Mérito	Edad establecido (años)	CT (t ha^{-1})	Significancia
1	7,0	72.14	b
2	4,0	89.28	a

Letras diferentes indican significancia estadística.

El sistema establecido a una altitud de 1,800 msnm y con una edad de cuatro años obtuvo el mayor promedio respecto al carbono total, siendo la media de 98.88 t ha^{-1} , mientras que el menor valor se registró a 1,000 msnm y con una edad de siete años que obtuvo una media de 57.45 t ha^{-1} (Figura 10).

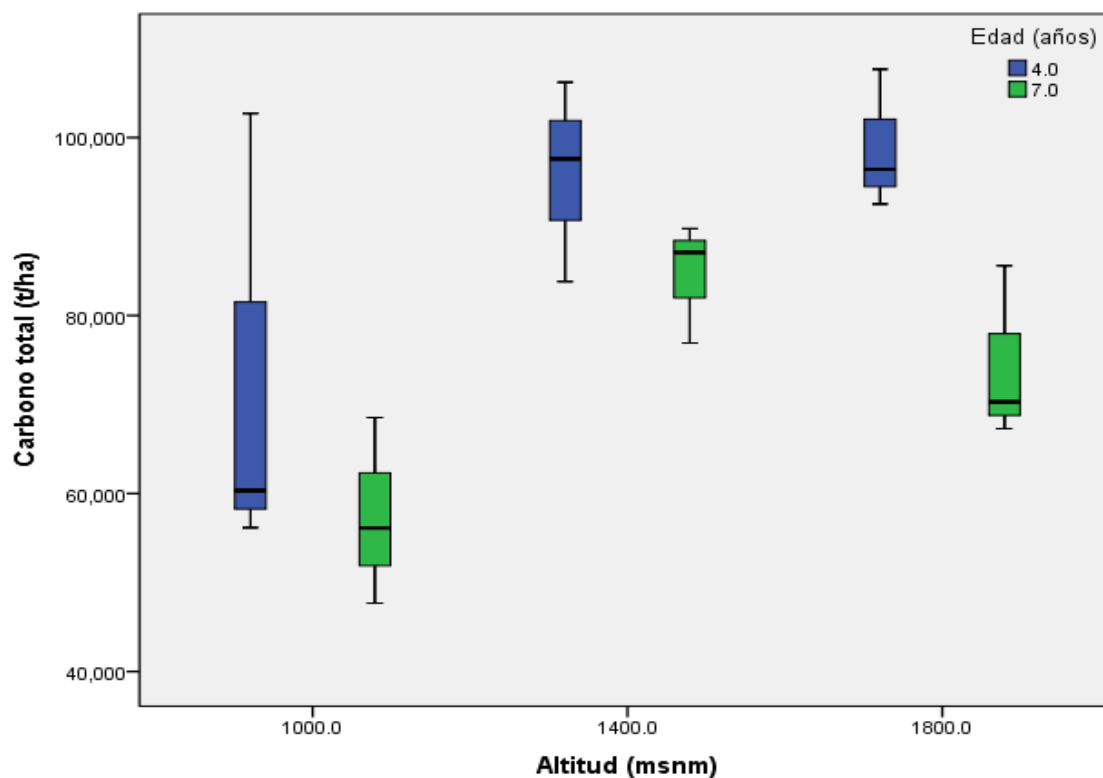


Figura 10. Influencia de la altitud y la edad sobre el carbono total de los sistemas agroforestales con café.

4.3. CORRELACIONAR LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO CON LA GRADIENTE ALTITUDINAL

En el análisis de la correlación de Pearson, se determinó que la biomasa arbórea viva (compuesto por *Inga edulis* L.) y la gradiente altitudinal presentaron correlación positiva media ($p = 0.519$), en caso de la biomasa radicular registró correlación positiva débil ($p = 0.498$), mientras que para el carbono del suelo se observó que hubo correlación positiva media ($p = 0.653$) y en caso del carbono total se registró correlación positiva débil ($p = 0.484$) con los gradientes altitudinales considerados en el presente estudio.

Asimismo, en caso de los indicadores de la biomasa de las plantas de café, de los árboles, hojarasca y arbórea viva total no presentaron correlación estadística significativa respecto a la gradiente altitudinal de los sistemas agroforestales con café, así como en el caso del carbono de la biomasa viva y el carbono obtenido en los frutos del café no se logró contrastar la presencia de correlación significativa con la gradiente altitudinal (Cuadro 22).

Cuadro 22. Correlación de la biomasa y carbono sobre la gradiente altitudinal.

Variables	Correlación de Pearson (r)	Sig. (bilateral)
B (t ha ⁻¹)	-0.081	0.7494 ^{ns}
BA (t ha ⁻¹)	0.519	0.0274*
BH (t ha ⁻¹)	0.083	0.7447 ^{ns}
BAH (t ha ⁻¹)	-0.131	0.6036 ^{ns}
BR (t ha ⁻¹)	0.498	0.0356*
BVT (t ha ⁻¹)	0.450	0.0611 ^{ns}
CBV (t ha ⁻¹)	0.450	0.0611 ^{ns}
CS (t ha ⁻¹)	0.653	0.003*
CFC (t ha ⁻¹)	0.220	0.3802 ^{ns}
CT (t ha ⁻¹)	0.484	0.042*

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación (R^2) del 0.2691 (Figura 11).

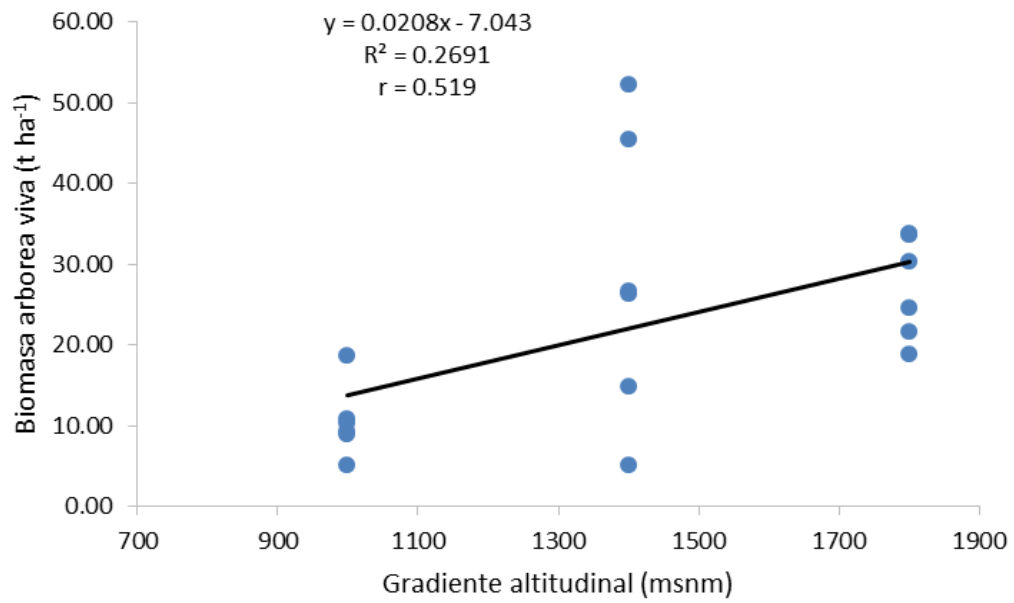


Figura 11. Regresión entre la gradiente altitudinal y la biomasa aérea viva.

La regresión generada entre la gradiente y la biomasa radicular dos obtuvo un coeficiente de determinación de 0.2476 (Figura 12).

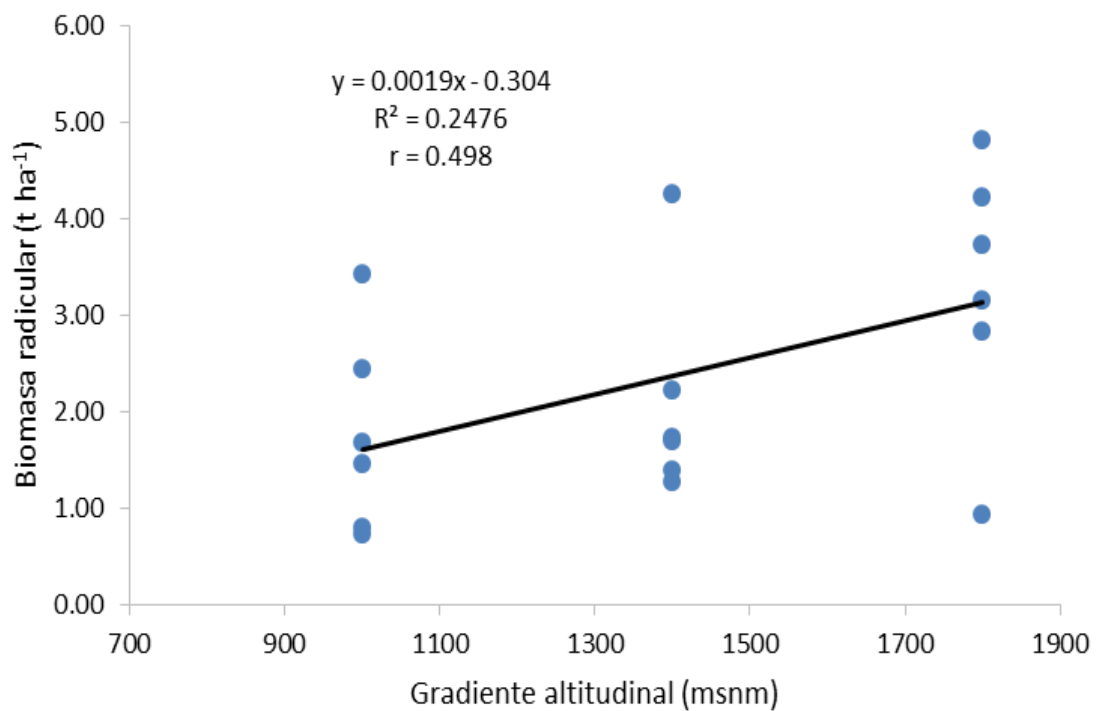


Figura 12. Regresión entre la gradiente altitudinal y la biomasa radicular.

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación deficiente de 0.0468 (Figura 13).

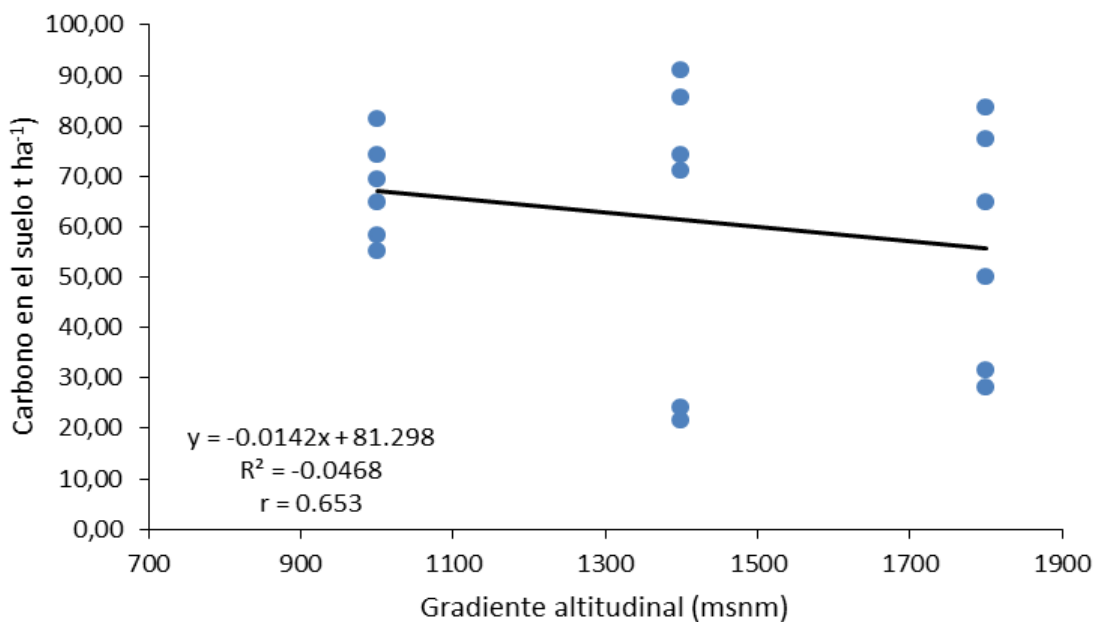


Figura 13. Regresión entre la gradiente altitudinal y el carbono edáfico.

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación deficiente de 0.0041, la cual es muy limitado para una aplicación práctica en la toma de decisiones sobre el carbono almacenado (Figura 14).

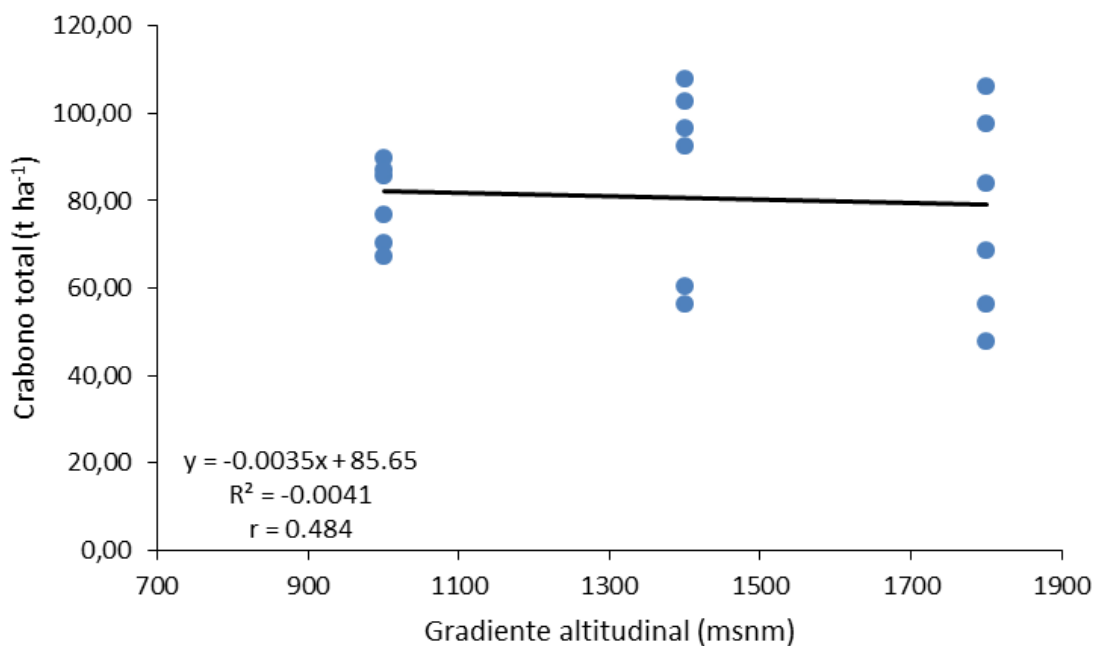


Figura 14. Regresión entre la gradiente altitudinal y el carbono total.

4.4. RENTABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA AGROFORESTAL DE *Coffea arabica* L. “CAFÉ” EN RELACION A LA GRADIENTE ALTITUDINAL

4.4.1. Valor Actual Neto (VAN)

Se ha determinado los indicadores de rentabilidad del presente trabajo. El costo de oportunidad utilizado para los cálculos es de 14% por año según SANTANA (2005), donde se determinó el Valor Actual Neto (VAN) para los tres niveles altitudinales; siendo el caserío de Túpac Amaru que alcanzó S/. 3,283.84, siendo superior en el caserío José María Ugarteche que registró un valor monetario de S/. 2,783.30 y este fue superior a los sistemas agroforestales con café ubicadas en el caserío Chipaquillo que solo registró un valor monetario de S/ 2,031.45.

Sin embargo, las tres zonas consideradas en el estudio presentaron la viabilidad del proyecto (Cuadro 23 y Anexo 61-63).

Cuadro 23. Indicador económico Valor Actual Neto para los sistemas agroforestales de café.

Indicadores	Chipaquillo	José María Ugarteche	Túpac Amaru
VAN (S/)	2,031.45	2,783.30	3,283.84

Con tan solo hallar el Valor Actual Neto de un proyecto de inversión para saber si dicho proyecto es viable o no.

Entonces se concluye que el proyecto es viable para las tres zonas, debido a que el VAN es mayor a la inversión. También permitió determinar qué proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión; el proyecto más rentable fue la zona de Túpac Amaru (S/ 3,283.84) y con una baja rentabilidad fue la zona de Chipaquillo (S/ 2,031.45).

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación deficiente (R^2) de 0.9868 (Figura 15).

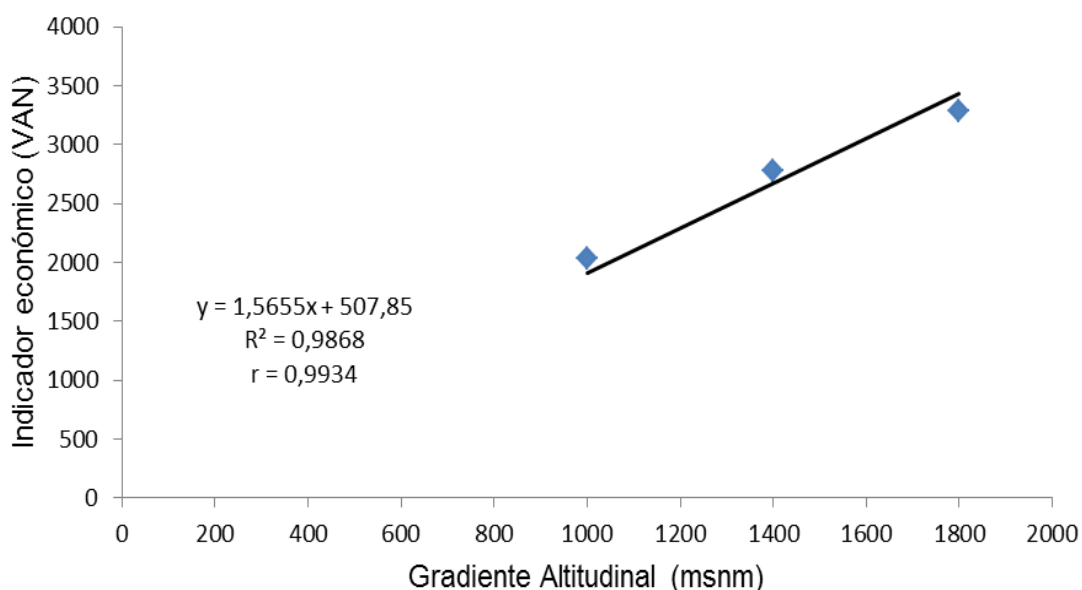


Figura 15. Regresión entre la gradiente altitudinal y el Valor Actual Neto en los sistemas agroforestales de café.

4.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto y se considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento), y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no. Si la TIR es menor a la tasa de descuento, el proyecto debe rechazarse.

Al mismo tiempo se observa en este mismo cuadro la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculado para Chipaquillo fue de 21.41%, menor a la TIR de la José María Ugarteche que fue de 23.86% y este fue menor a la TIR de Túpac Amaru que fue de 25.22%. También este indicador de rentabilidad (TIR) nos demuestra que las tres zonas son viables, por cuanto en los tres casos la TIR es mayor que el costo de oportunidad que se utilizó 14% (Cuadro 24 y Anexo 61-63).

Cuadro 24. Indicador económico Tasa Interna de Retorno para los sistemas agroforestales de café.

Indicadores	Chipaquillo	José María Ugarteche	Túpac Amaru
TIR (%)	21.41	23.86	25.22

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación deficiente (R^2) de 0.9868 (Figura 16).

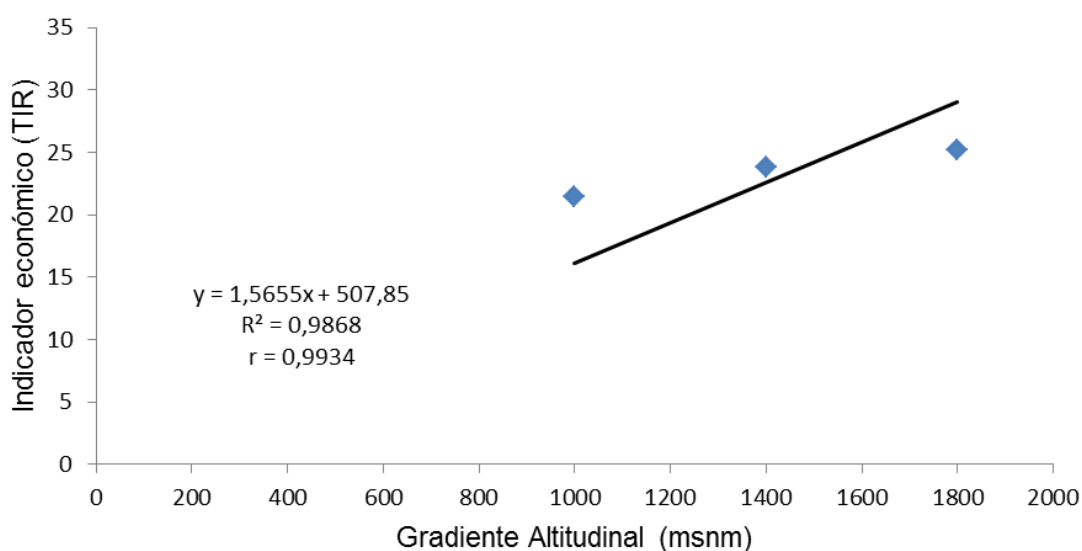


Figura 16. Regresión entre la gradiente altitudinal y la Tasa Interna de Retorno en los sistemas agroforestales de café.

4.4.3. Beneficio Costo (B/C)

El análisis beneficio-costos tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. También permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas o de un proyecto a ser desarrollado. Esta técnica se debe utilizar al comparar proyectos para la toma de decisiones.

La relación beneficio costo, (B/C), Chipaquillo mostro tener 1.48, menor que José María Ugarteche que tuvo 1.66 y este fue menor que Túpac Amaru que tuvo 1.78. Sin embargo, el proyecto es viable en las tres zonas por ser mayor a la unidad, debido a que el ingreso es mayor al costo (Cuadro 25 y Anexo 61-63).

Cuadro 25. Indicador económico beneficio costo para los sistemas agroforestales de café.

Indicadores	Chipaquillo	José María Ugarteche	Túpac Amaru
B/C	1.48	1.66	1.78

Asimismo, la relación beneficio costo de 1.98 que corresponde a Túpac Amaru, se puede interpretar que por cada sol que se invierte se obtiene una ganancia de 0.78 soles a largo plazo, la relación beneficio costo de 1.66 que corresponde a José María Ugarteche se interpreta que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de 0.66 y en Chipaquillo que es 1.48 se tendría una ganancia de 0.48.

La regresión generada de la correlación entre las dos variables alcanzó un coeficiente de determinación deficiente (R^2) de 0.9868 (Figura 17).

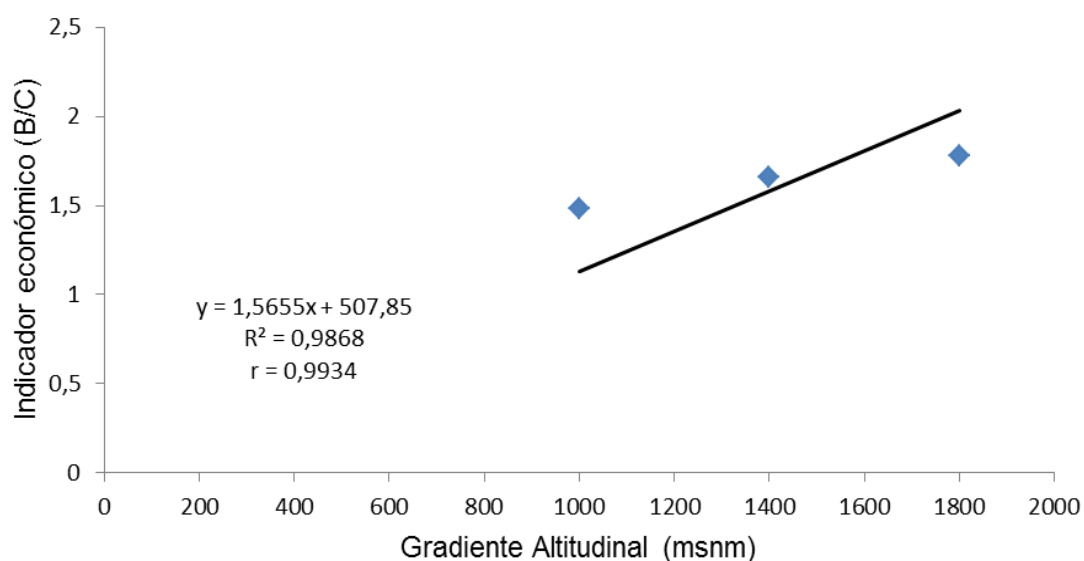


Figura 17. Regresión entre la gradiente altitudinal y el Beneficio Costo en los sistemas agroforestales de café.

V. DISCUSIÓN

➤ La mayor cantidad de biomasa retenida se encuentra a una edad de 4 años en la gradiente altitudinal de 1,400 msnm con un total de 73.16 t ha⁻¹ y la más baja a una gradiente de 1,000 msnm con un total de 26.17 t ha⁻¹. Sin embargo, para el agroecosistema de café de 7 años, la mayor biomasa se encuentra a una altitud de 1,800 msnm con 46.26 t ha⁻¹ y la más baja a 1,000 msnm con 27.98 t ha⁻¹ respectivamente. Según lo mencionado por ALEGRE *et al.* (2002), las plantaciones conforme van incrementando su edad a través del tiempo, son más vigorosas y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa como también presentan valores más altos de acumulación de carbono. Por lo tanto, se aprecia que las plantaciones jóvenes de 4 años obtuvieron mayor biomasa vegetal que las plantas adultas de 7 años, debido que estas fueron atacadas por la roya amarilla en el año 2012 generando mayor mortandad en dicha plantación y por ende afectando en el almacenamiento de la biomasa vegetal.

Según LIVIA (2014), menciona que a mayor gradiente altitudinal aumenta el contenido de biomasa vegetal en los sistemas agroforestales de café de 4 y 8 años; a diferencia que en el presente trabajo de investigación mostraron resultados opuestos en la edad de 4 años que tuvo mayor biomasa a una gradiente de 1,400 msnm y no a la mayor gradiente que es 1,800 msnm; debido a factores climáticos como la humedad, temperatura y fisiografía.

➤ Los sistemas agroforestales muestran valores que ofrecen muchas ventajas, especialmente para los pequeños agricultores (FAO, 2002). El saber de los factores, que influyen y determinan la cantidad de carbono almacenado, permitiría hacer más factible para los agricultores.

Con este conocimiento, queda demostrado que el sistema agroforestal de café de 4 años se encuentra en la gradiente altitudinal de 1,800 msnm

acumulando mayor carbono con un total de 95.88 t ha⁻¹ y la más baja a una gradiente de 1,400 msnm con un total de 73.07 t ha⁻¹. Sin embargo, para el sistema agroforestal de café de 7 años, el mayor carbono se encuentra a una altitud de 1,400 msnm con 98.88 t ha⁻¹ y la más baja a 1,800 msnm con 57.45 t ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo CALLO (2000), señala que el potencial para el almacenamiento de carbono en SAF, incluyendo el carbono del suelo, oscila en 12 y 228 t ha⁻¹ siendo mayor en el trópico húmedo. Por lo tanto, los resultados obtenidos concluyó que a mayor altitud disminuye ligeramente el carbono almacenado en los sistemas agroforestales.

Por otro lado en el trabajo de investigación de ABARCA (2011), obtuvo resultados de 141.19 t C ha⁻¹ en su sistema agroforestal de café, siendo mayor a los resultados obtenidos por el trabajo de investigación.

IPARRAGUIRRE (2000), asume que el 45 % de la biomasa vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 67,5 a 171 t/ha.

➤ En el análisis aplicado a la cantidad de carbono en relación a la gradiente altitudinal, fue la correlación de Pearson quien determinó que la biomasa arbórea viva (compuesto principalmente por la *Inga edulis* L.) y la gradiente altitudinal presentaron correlación positiva media ($p = 0.519$), en caso de la biomasa radicular registró correlación positiva débil ($p = 0.498$), mientras que para el carbono del suelo se observó que hubo correlación positiva media ($p = 0.653$) y en caso del carbono total de los sistemas agroforestales se registró correlación positiva débil ($p = 0.484$) con las gradientes altitudinales considerados en el presente estudio. Esto nos quiere decir que a mayor gradiente altitudinal disminuye ligeramente la cantidad de carbono en los sistemas agroforestales de café.

Asimismo, en caso de los indicadores de la biomasa de las plantas de café, hojarasca, arbórea/herbácea, biomasa viva total no presentaron correlación estadística significativa respecto a la gradiente altitudinal de los

sistemas agroforestales con café, así como en el caso del carbono de la biomasa viva y el carbono obtenido en los frutos del café no se logró contrastar la presencia de correlación significativa con la gradiente altitudinal.

No solo varía la temperatura atmosférica con la altura relativa sino también otros elementos del clima como son: La humedad, las precipitaciones, los efectos de los vientos (sobre todo, a escala local) y, por supuesto, la presión atmosférica. Así la denominación de gradientes altitudinal podría preferirse si vamos a estudiar detalladamente la forma como la altitud en la zona intertropical modifica todos y cada uno de los elementos climáticos (ESCAMILLA, 2004). Es por eso que se demostró en el presente estudio un ligero incremento de carbono total del sistema agroforestal de café cuando aumenta la gradiente altitudinal.

➤ El costo de oportunidad utilizado para los cálculos es de 14% por año según SANTANA (2005), donde se determinó el Valor Actual Neto (VAN) para las tres gradientes altitudinales; siendo Túpac Amaru con S/. 3,283.84 el que alcanzó un valor superior a José María Ugarteche que tuvo S/. 2,783.30 y este es superior a Chipaquillo que solo tuvo S/. 2,031.45. Sin embargo, las tres zonas indican la viabilidad del proyecto, favoreciendo la inversión del proyecto a una mayor gradiente altitudinal.

Al mismo tiempo, se observa que la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculado para la zona de Chipaquillo fue de 21.41%, menor a la TIR de la José María Ugarteche que fue de 23.86% y este fue menor a la TIR de Túpac Amaru que fue de 25.22%.

Otro indicador de rentabilidad calculado fue la relación de beneficio costo (B/C), que para la zona de Chipaquillo mostro tener 1.48, menor que José María Ugarteche que tuvo 1.66 y este fue menor que Túpac Amaru que tuvo 1.78. Sin embargo, como podemos observar en la Figura 17 el proyecto es viable en las tres zonas por ser mayor a la unidad, debido a que el ingreso es mayor al costo (SANTANA, 2005).

VI. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, es posible llegar a las siguientes conclusiones;

1. La cantidad de biomasa vegetal del sistema agroforestal de café de 4 años es mayor en la gradiente altitudinal de 1,400 msnm con 73.16 t ha^{-1} y la más baja a una altitud de 1,000 msnm con 26.17 t ha^{-1} ; sin embargo, para la edad de 7 años, la mayor biomasa se encuentra a una altitud de 1,800 msnm con 46.26 t ha^{-1} y la más baja a 1,000 msnm con 27.98 t ha^{-1} .
2. Los sistemas agroforestales con café de 4 y 7 años si presentan ligeras variaciones en el almacenamiento de carbono en relación a la gradiente altitudinal. Así la edad de 4 años, fue mayor en la gradiente altitudinal de 1,800 msnm con $95.88 \text{ t C ha}^{-1}$ y la más baja a 1,400 msnm con $73.07 \text{ t C ha}^{-1}$. Y en la edad de 7 años fue mayor a 1,400 msnm con $98.88 \text{ t C ha}^{-1}$ y la más baja a una gradiente de 1,800 msnm con $57.45 \text{ t C ha}^{-1}$.
3. La cantidad de carbono almacenado en el sistema agroforestal de café a una gradiente altitudinal de 1,400 msnm, seguido de la gradiente de 1,000 msnm y la más baja se registró a una gradiente altitudinal de 1,800 msnm.
4. El valor económico según el VAN, TIR y la relación B/C fue mayor para el sistema agroforestal de café de la zona de Túpac Amaru, seguido de José María Ugarteche y finalmente el sistema agroforestal de la zona de Chipaquillo.

VII. RECOMENDACIONES

Del presente trabajo de investigación se puede recomendar:

1. Estimar estudios con diferentes sistemas agroforestales (café, cacao, etc.) en diferentes zonas de vida, para generar una base de datos que permitan conocer el flujo del carbono en estos cultivos.
2. Sensibilizar a los agricultores respecto a los sistemas agroforestales de café y especies forestales, sobre el almacenamiento de carbono, con la finalidad de mitigar la contaminación ambiental, la conservación del recurso suelo y reducir las emisiones de gas del efecto invernadero.
3. Efectuar estudios de valoración económica de almacenamiento y captura de carbono a nivel de la región, en especies forestales (café con guaba, café con shihuahuaco, café con bolaina, café con capirona, etc), con el fin que los propietarios puedan acceder a mercados de carbono.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABARCA, V. 2011. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un sistema agroforestal de café de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Rio Azul. Tingo María. 62p.
- ACOSTA, M., QUENDNOW, K., ETCHEVERS, J., MONREAL, C. 2001. Método para la medición de carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. INFAP. Colegio de Posgraduados, México. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (18-20 de Octubre, 2001, Valdivia, Chile).
- ALBRECHT, A., KANDJI, S.T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 99(1-3):15-27.
- ALEGRE, J., ARÉVALO, L., RICSE, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. [En línea]: Virtual centre, (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>, documento 15 Nov. 2016).
- ANDRASKO, K. 1990. El calentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. Unasylva. Roma, Italia. 41 p.
- AREVALO, L.; ALEGRE, J.; RIOS, E; CALLO-CONCHA, D. y PALM, CH. 2002. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroforestais. Brasil. Pp 1-8.

- ÁVILA, G., JIMÉNEZ, F., BEER, J., GÓMEZ, M., IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8(30):32-35.
- BATET, S., ROVIRA, S. 2002. Cambio climático. Región de sostenibilidad del centro UNESCO de Catalunya. [En línea]: Oneworld. (<http://es.oneworld.net/article/archive/5728/>, documentos, 18 de Dic. 2016).
- BAZAN, T.R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos, plantas y aguas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- BERNAL, C.A. 2010. Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. 3 ed. Colombia, Universidad de La Sabana.
- BRINGAS, P. 2010. Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María.
- BROWN, S., LUGO, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17. [En línea]: FAO (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; documentos, 15 Dic. 2016).
- CALLO, D. 2000. Cuantificaciones de carbono secuestradas por algunas SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. Tesis M. Sc. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. México. 72 p.
- CAMBARDELLA, C. 1998. Experimental verification of simulated soil organic matter pools. In LAL L; KIMBLE J.M; FOLLETT R.A. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Ratón. p. 519-526.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, San José). 2000. Diagnóstico de las malas hierbas en los cafetales Revista CATIE. Costa Rica.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, San José). 2010. Almacenaje de carbono en cafetales. Proyecto CIRAD-CATIE. Revista CATIE. Costa Rica.
- CENTRO HADLEY. 2002. El efecto invernadero. [En línea]: BBC, (<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/reduced.html>, documento 15 Ene. 2016).
- CERRI, C., FELLER, C., BALESSENT, J., VICTORIA, R., PLENECASSAGNE, A. 1985. Application du traçage isotopique naturel ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. C.R. Aca. Sc. Paris, Ser 2(300):423-428.
- CIELSA, W.M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO montes N° 126. 147 p.
- CONNOLLY, W., COREA, S. 2007. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 85 p.
- CÓRDOVA, S., HERNÁNDEZ, L. 2009. Efecto de la sombra sobre el crecimiento herbáceo. México. 28p.
- CORRAL, R., DUICELA, L., MASA, H. 2006. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas el litoral ecuatoriano [En línea]; Conafac, (<http://www.conafac.org/documentos/Resumenes-CarbonoenSAF.pdf>, documentos, 23 Mayo. 2016).
- CUBRERO, J. y ROJAS, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea Roxb.*), teca (*teutona grandis L. F*) y pochote

(*Bombacopsis quintana Jacq*) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste Costa Rica. Tesis para optar el grado de licenciados en ciencias forestales con énfasis en desarrollo forestal. CATIE. 111 p.

ESCAMILLA, F. 2004. Geografía de Venezuela 9. Caracas, Venezuela, Girasol. 496 p.

ESPINOZA, D., KRISHNAMURTHY, L., VASQUEZ, A., TORRES, R. (2011). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México. [En línea]; (<http://www.chapingo.mx/revistas>, 18 abril.2018).

FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma). 1998. Agroforestería para la producción animal en América Latina. [En línea]; Fao, (www.fao.org/documentos, documentos, 23 Ago. 2016).

FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michael Robert. Institut national de recherche agronomique. Paris, Francia. 62p.

FONAM (Fondo Nacional del Ambiente, Lima). 2004. Secuestro de carbono. Lima, Perú, FONAM. [En línea]; FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro>. Documentos, 10 Dic. 2016).

GUZMÁN, A., LAGUNA, I., MARTÍNEZ, J. 2006. Los mecanismos flexibles del protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. [En línea]; INEI, (<http://www.inei.gob.mx/ueajei/publicaciones.html>, documentos, 15 Feb.2017).

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, M.P. 2014. Metodología de la investigación. 6 ed. México, McGraw-Hill. 600 p.

- HERRERA, A. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 95p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1982. Ecología: Basado en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 216 p.
- ICRAF, 2011 (Consejo Internacional de Investigaciones Agroforestales). Congreso Brasileño de Sistemas Agroforestales [En línea]: ICRAF, (<http://www.worldagroforestry.org/latinamerica/content/icraf-participa-en-el-congreso-brasile%C3%B1o-de-sistemas-agroforestales2011>). Documentos, 25 Nov. 2016).
- IPARRAGUIRRE, L. 2000. Ecología. Universidad Nacional Federico Villareal. Lima, Perú. p. 39-42.
- JACKSON, M. L. 1982. Análisis Químico de Suelos. Química de suelos. 662 p.
- LAPEYRE, T. ALEGRE, J. y AREVALO, L. 2004. Determinación de las Reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de tierra en San Martín, Perú. Ecología aplicada. Volumen 3. Número 1-2. Universidad Agraria La Molina. Lima – Perú. 44p.
- MÁRQUEZ, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo, CO₂ en el uso del suelo. Fundación SOLAR. Guatemala. 31 p.
- MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. Edición. Organización para Estudios Tropicales. Costa Rica. Pp. 622.
- MONTENEGRO, J., ABARCA, S. 1999. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In Seminario de Intensificación de la ganadería en Centroamérica:

- beneficios económicos y ambientales. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 334 p.
- NORBERTO, C. 2006. Metodologías para el análisis Costo-Beneficio de usos del suelo y fijación de carbono en sistemas forestales para el mecanismo de desarrollo limpio. Proyecto forestal de Desarrollo (SAGP y A/BIRF) B. Aires, Argentina. 20p.
- ORTIZ-CEBALLOS, G. 2004. El agroecosistema de café: Crisis de mercado y sustentabilidad. Tesis de doctorado en ciencias. Programa en agroecosistema tropical. Colegio de posgraduados. México. 125 p.
- ORTIZ, G y RIASCOS, C. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) (Ruiz & Pavón) reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. [En línea] (<http://www.worldcocoafoundation.org/infocenter/documentresearchcenter/documents/ortizguerrero2006.pdf>. Doc. 13 Dic. del 2016).
- PAVÓN, P. y GOGESCOECHEA, M. 2010. Metodología de la Investigación II. Xalapa, México, Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias de la Salud. 44 p. [En línea]: Sapp, (<http://sapp.uv.mx/univirtual/especialidadesmedicas/mi2/modulo1/docs/Dise%C3%B1osde.pdf>, archivos, 15 Dic. 2017).
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 1997. Informe del Desarrollo Humano. Protocolo de Kyoto para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. p. 2-4.
- RAMÍREZ, O., FINEGAN, B., RODRIGUEZ, L., ORTIZ, R. 1994. Análisis económico de impactos ambientales: Estudios de caso: Evaluación económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono: El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias de mercado sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 212-224.

- RÍOS, J. 2007. Almacenamiento de carbono y valoración económica en sistemas de uso de tierra comparados con el cultivo de coca (*Erythroxylon coca* L.) en el distrito de José Crespo y Castillo, Perú. 125 p.
- SALISBURI, F.B. 1999. Fisiología vegetal. México, Iberoamérica. 759 p.
- SANCHEZ, P., BURESH, R., LEAKEY, B. 1999. Trees, soils and food security. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. [En línea]: (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y27779s05.htm> archivos, 20 Dic. 2016).
- SANTANA, A.C. 2005. Elementos de economía, agronegocios e desenvolvimiento local. Serie Académica 01. GTZ, TUD, UFRA, Belém. Brasil. p. 63-67.
- SCHROEDER, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. [En línea]: (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y27779s05.htm> archivos, 15 Dic. 2016).
- SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono, en un bosque de altura en la Cordillera de la Salamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. Forherdia, Costa Rica. UNA. 127 p.
- SEGURA, M. 2005. Proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica. Pp. 120-128.
- SEGURA, M., KANNINEN, M. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Systems. (68):143-150.
- SMITH, J., SABOGAL, C., JONG, W., KAIRMOWITZ, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para desarrollo rural y la conservación ambiental en trópicos de América Latina. (CIFOR). Indonesia. Pp. 13-36.
- SUAREZ, D. 2004. Cuantificación económica del servicio ambiental, almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la

Comarca Yassic sur, Matagela. Nicaragua. Tesis MgSc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 17p.

SUPO, J. 2014. Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud. Arequipa, Perú, Bioestadístico. 270 p.

UNFCCC. 1998. El protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [En línea]; UNFCCC, <http://unfccc.int/resource/docs/convdgvkp/kpsdgnpan.pdf>, documentos, 25 Ago. 2016).

IX. ANEXOS

Cuadro 26. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A				TRANSECTO B				TRANSECTO C			
N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	2.60	3.58	1.03	Café	2.60	4.65	1.33	Café	2.75	3.28	1.02
Café	2.65	3.81	1.13	Café	3.03	6.17	2.11	Café	3.20	4.32	1.61
Café	2.81	3.74	1.19	Café	3.02	2.28	0.82	Café	2.15	3.37	0.77
Café	2.61	3.80	1.10	Café	3.30	3.46	1.36	Café	2.00	3.68	0.76
Café	2.72	3.85	1.18	Café	2.35	3.50	0.89	Café	2.70	3.83	1.16
Café	2.19	3.26	0.76	Café	2.83	4.26	1.36	Café	2.79	4.00	1.26
Café	2.10	3.89	0.85	Café	2.64	3.29	0.98	Café	2.70	3.88	1.17
Café	2.68	4.54	1.35	Café	1.83	2.94	0.55	Café	4.10	5.83	2.94
Café	4.40	4.46	2.49	Café	3.42	5.00	2.02	Café	2.50	3.69	1.01
Café	3.90	3.94	1.90	Café	4.35	4.14	2.28	Café	2.85	4.06	1.31
Café	3.15	4.49	1.64	Café	2.65	3.99	1.18	Café	3.90	5.78	2.73
Café	2.72	4.56	1.38	Café	2.94	3.81	1.28	Café	2.98	4.65	1.58
Café	2.98	5.51	1.86	Café	2.60	4.94	1.41	Café	2.40	3.53	0.92
Café	2.80	4.55	1.43	Café	3.35	5.29	2.07	Café	2.70	3.55	1.08
Café	2.27	4.72	1.13	Café	3.05	4.56	1.60	Café	2.94	3.87	1.30
Café	2.15	2.35	0.55	Café	2.65	4.92	1.43	Café	4.15	4.36	2.26
Café	2.74	4.48	1.37	Café	2.47	6.93	1.82	Café	3.25	4.55	1.73
Café	2.30	5.02	1.22	Café	2.90	4.14	1.36	Café	2.50	3.77	1.03
Café	2.56	3.99	1.13	Café	2.93	4.68	1.55	Café	3.00	4.53	1.55
Café	1.80	2.52	0.47	Café	2.75	4.47	1.37	Café	2.85	4.83	1.55
Café	2.65	3.72	1.10	Café	2.98	3.80	1.30	Café	2.15	4.08	0.92
Café	2.33	4.48	1.11	Café	2.55	3.55	1.00	Café	2.90	4.28	1.41
Café	2.60	4.03	1.16	Café	2.60	3.65	1.06	Café	2.95	4.36	1.47
Café	2.88	4.03	1.32	Café	2.90	4.73	1.55	Café	2.50	3.60	0.99
Café	1.69	2.47	0.42	Café	2.60	4.09	1.17	Café	1.90	3.64	0.71
Café	3.00	4.58	1.57	Café	2.63	3.56	1.04	Café	2.70	3.33	1.01
Café	2.82	4.35	1.38	Café	4.10	6.09	3.06	Café	2.55	3.90	1.10
Café	4.10	4.65	2.37	Café	2.55	3.86	1.08	Café	2.30	2.66	0.67

Café	2.77	4.42	1.37	Café	1.73	2.34	0.41	Café	2.85	3.66	1.19
Café	2.82	4.40	1.40	Café	3.10	3.98	1.43	Café	2.60	3.38	0.98
Café	2.40	3.36	0.88	Café	3.35	3.98	1.58	Café	4.00	3.75	1.87
Café	2.10	3.54	0.78	Café	2.62	4.05	1.18	Café	2.70	4.36	1.31
Café	2.37	3.78	0.97	Café	2.45	3.11	0.84	Café	2.35	3.48	0.89
Café	3.09	4.88	1.73	Café	2.65	3.31	0.98	Café	2.45	3.60	0.97
Café	3.04	3.93	1.38	Café	2.48	3.78	1.03	Café	2.50	4.50	1.22
Café	2.85	4.87	1.56	Café	2.87	3.74	1.22	Café	3.10	4.23	1.52
Café	2.14	3.39	0.77	Café	3.20	4.17	1.56	Café	2.75	4.05	1.25
Café	2.95	4.42	1.48	Café	2.56	3.52	1.00	Café	2.00	2.14	0.46
Café	2.18	2.92	0.68	Café	4.00	4.90	2.41	Café	3.15	4.57	1.67
Café	2.20	2.33	0.56	Café	2.90	4.23	1.39	Café	2.70	3.97	1.20
Café	2.50	4.19	1.14	Café	2.80	4.17	1.31	Café	2.74	3.29	1.02
Café	2.86	4.28	1.39	Café	2.65	4.22	1.24	Café	2.85	3.97	1.28
Café	4.40	4.93	2.74	Café	2.78	4.12	1.29	Café	2.60	3.72	1.07
Café	2.64	3.88	1.14	Café	2.81	3.98	1.26	Café	2.40	3.90	1.01
Café	2.80	3.89	1.23					Café	2.50	3.59	0.99
Café	2.84	3.92	1.26					Café	2.75	4.04	1.25
Café	2.65	4.16	1.22					Café	3.20	3.91	1.47
Café	3.03	4.55	1.58					Café	2.50	3.75	1.03
								Café	3.25	4.14	1.58
								Café	2.65	3.46	1.03
								Café	4.20	4.95	2.59
								Café	2.55	3.94	1.11
								Café	2.20	3.15	0.74
								Café	4.40	5.74	3.16
								Café	2.90	3.48	1.16
								Café	2.75	2.95	0.93
								Café	2.30	3.31	0.82
Total (kg/árbol)		60.85				60.18				73.79	
B (t/ha)		2.43				2.41				2.95	

Nota: Diámetro para café es a 15cm del suelo; B= Biomasa del café.

Cuadro 27. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años (transectos A, B y C)

N. Común	TRANSECTO A			N. Común	TRANSECTO B			N. Común	TRANSECTO C		
	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)		Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)		Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	4.43	4.89	2.74	Café	5.10	7.09	4.67	Café	4.10	5.10	2.58
Café	4.80	4.52	2.82	Café	3.10	3.74	1.35	Café	3.80	3.43	1.61
Café	5.05	4.72	3.13	Café	4.90	6.94	4.34	Café	4.30	4.08	2.22
Café	3.60	5.98	2.55	Café	3.40	5.64	2.24	Café	3.90	4.14	1.99
Café	4.40	5.88	3.24	Café	5.00	7.49	4.79	Café	4.60	5.71	3.33
Café	3.83	5.74	2.65	Café	5.15	4.67	3.17	Café	5.10	3.79	2.57
Café	3.92	5.89	2.80	Café	4.30	3.41	1.87	Café	5.20	4.75	3.27
Café	3.50	5.49	2.27	Café	5.10	6.67	4.40	Café	4.10	5.49	2.77
Café	3.80	6.30	2.87	Café	6.15	3.12	2.72	Café	5.20	4.98	3.42
Café	4.40	6.87	3.75	Café	4.50	4.98	2.84	Café	3.90	4.81	2.29
Café	3.60	6.72	2.85	Café	3.50	5.58	2.30	Café	4.20	4.60	2.42
Café	4.65	7.52	4.39	Café	2.80	2.74	0.88	Café	5.10	6.22	4.12
Café	3.40	6.56	2.59	Café	4.10	4.55	2.32	Café	5.20	5.64	3.84
Café	4.44	6.31	3.50	Café	4.50	2.21	1.31	Café	5.10	5.25	3.51
Café	4.60	6.91	3.99	Café	3.10	4.21	1.51	Café	4.60	5.67	3.31
Café	4.15	5.67	2.90	Café	5.00	6.52	4.20	Café	5.20	5.59	3.82
Café	3.95	6.47	3.09	Café	4.40	5.76	3.17	Café	4.90	5.57	3.53
Café	3.60	5.63	2.41	Café	3.40	3.32	1.36	Café	4.80	5.06	3.13
Café	5.10	6.12	4.06	Café	3.30	2.46	0.98	Café	5.30	5.00	3.52
Café	4.86	4.20	2.67	Café	4.10	6.09	3.06	Café	4.20	4.45	2.34
Café	4.35	5.38	2.93	Café	4.30	6.20	3.31	Café	4.80	5.45	3.36
Café	4.80	6.15	3.77	Café	4.40	8.89	4.79	Café	4.00	4.09	2.03
Café	4.25	5.93	3.12	Café	4.35	3.63	2.01	Café	4.20	4.45	2.34
Café	3.45	5.48	2.22	Café	6.60	5.08	4.72	Café	4.40	3.90	2.19
Café	4.15	5.28	2.72	Café	4.00	5.12	2.52	Café	4.90	3.81	2.46
Café	3.50	5.26	2.18	Café	3.55	8.11	3.34	Café	3.60	3.99	1.73
Café	5.12	5.90	3.94	Café	3.10	3.34	1.21	Café	4.00	4.47	2.21
Café	3.10	5.56	1.97	Café	4.60	5.52	3.23	Café	4.80	5.40	3.34

Café	4.48	5.81	3.27	Café	2.80	2.91	0.93	Café	4.70	4.44	2.69
Café	4.73	4.82	2.94	Café	2.50	5.36	1.45	Café	3.50	4.70	1.96
Café	4.30	5.02	2.71	Café	5.10	6.49	4.29	Café	4.10	4.71	2.40
Café	4.70	5.64	3.38	Café	6.30	3.89	3.45	Café	3.80	4.50	2.08
Café	4.07	5.61	2.80	Café	3.20	3.96	1.48	Café	4.10	4.08	2.09
Café	4.44	5.52	3.08	Café	4.30	2.86	1.58	Café	3.60	4.59	1.98
Café	4.60	4.84	2.84	Café	3.30	3.82	1.49	Café	4.10	5.25	2.66
Café	4.15	4.53	2.35	Café	5.00	5.85	3.79	Café	4.20	8.26	4.21
Café	4.86	4.29	2.72	Café	4.10	5.19	2.63	Café	3.90	4.49	2.15
Café	4.44	4.75	2.67	Café	5.10	6.06	4.02	Café	4.15	4.99	2.57
Café	4.25	4.32	2.31	Café	5.20	5.01	3.44	Café	4.00	4.19	2.08
Café	3.45	4.90	2.00	Café	5.15	5.08	3.44	Café	4.20	5.25	2.74
Café	4.15	4.12	2.14	Café	4.40	5.07	2.81	Café	4.00	5.24	2.57
				Café	3.00	3.21	1.12	Café	3.90	4.08	1.96
				Café	3.50	3.54	1.49	Café	5.10	5.37	3.58
				Café	4.55	4.48	2.61	Café	4.40	4.08	2.29
				Café	4.10	4.90	2.49	Café	4.90	5.37	3.40
				Café	4.80	4.79	2.98	Café	3.80	4.55	2.11
				Café	3.30	2.49	0.99	Café	5.10	5.45	3.63
				Café	4.20	4.48	2.36	Café	4.10	4.98	2.53
				Café	3.90	4.13	1.98				
				Café	4.30	4.75	2.57				
				Café	2.90	3.29	1.10				
				Café	3.40	4.29	1.73				
				Café	3.60	3.91	1.70				
				Café	5.20	5.33	3.64				
				Café	2.30	4.94	1.20				
				Café	4.60	4.60	2.71				
				Café	4.15	4.10	2.14				
				Café	4.15	3.82	1.99				
				Café	2.60	2.37	0.70				
Total (kg/árbol)		119.33				148.93				130.92	
B (t/ha)		4.77				5.96				5.24	

Cuadro 28. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 4 años (transectos A, B y C)

TRANSECTO A				TRANSECTO B				TRANSECTO C			
N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	1.69	2.47	0.42	Café	1.46	2.59	0.37	Café	2.00	4.01	0.83
Café	1.59	2.37	0.37	Café	1.50	2.69	0.39	Café	1.73	3.21	0.56
Café	1.78	3.64	0.65	Café	1.15	2.12	0.22	Café	1.85	3.44	0.65
Café	1.24	2.14	0.25	Café	1.91	4.41	0.85	Café	2.05	3.56	0.76
Café	2.08	3.42	0.75	Café	0.92	2.16	0.17	Café	1.80	4.54	0.81
Café	2.20	2.86	0.68	Café	1.93	3.16	0.63	Café	1.60	3.18	0.50
Café	1.68	2.36	0.40	Café	2.00	4.25	0.87	Café	1.93	3.54	0.70
Café	2.10	2.77	0.62	Café	1.80	3.50	0.64	Café	1.67	3.17	0.53
Café	2.40	2.47	0.66	Café	2.10	4.18	0.92	Café	1.70	3.94	0.66
Café	1.78	3.26	0.59	Café	1.70	3.38	0.57	Café	1.68	3.51	0.58
Café	1.15	1.95	0.21	Café	2.00	3.32	0.69	Café	1.78	3.26	0.59
Café	2.16	2.65	0.61	Café	1.24	1.86	0.22	Café	1.20	2.06	0.23
Café	1.52	3.06	0.45	Café	2.25	3.16	0.76	Café	2.30	4.39	1.08
Café	1.87	2.95	0.57	Café	2.60	4.09	1.18	Café	1.30	1.97	0.24
Café	2.30	2.90	0.73	Café	2.28	3.94	0.96	Café	1.63	2.20	0.36
Café	2.00	2.90	0.61	Café	1.64	2.70	0.44	Café	2.08	3.17	0.69
Café	1.85	2.77	0.53	Café	1.65	2.62	0.43	Café	2.35	3.28	0.84
Café	1.74	2.54	0.45	Café	1.50	2.36	0.35	Café	1.33	2.03	0.26
Café	2.08	2.67	0.59	Café	1.98	3.29	0.68	Café	1.95	2.47	0.51
Café	1.85	2.66	0.51	Café	1.60	2.38	0.38	Café	2.20	3.35	0.79
Café	1.96	2.65	0.54	Café	1.82	2.67	0.50	Café	1.50	1.79	0.27
Café	2.10	2.77	0.62	Café	1.46	1.75	0.25	Café	1.35	1.83	0.24
Café	2.20	2.47	0.59	Café	1.82	2.22	0.42	Café	1.91	3.64	0.71
Café	2.33	2.24	0.58	Café	1.80	2.47	0.46	Café	1.59	2.75	0.43
Café	2.55	2.97	0.84	Café	1.92	3.93	0.77	Café	1.90	2.94	0.58
Café	1.82	3.77	0.69	Café	1.80	3.18	0.58	Café	1.35	2.29	0.30
Café	1.85	2.44	0.47	Café	1.76	3.35	0.59	Café	1.56	3.05	0.47
Café	1.68	2.98	0.50	Café	1.95	2.49	0.51	Café	1.75	2.38	0.42
Café	2.04	2.57	0.56	Café	1.68	2.33	0.40	Café	2.10	3.24	0.72
Café	1.95	3.16	0.64	Café	1.80	2.88	0.53	Café	1.66	3.09	0.51

Café	1.92	3.04	0.60	Café	2.00	3.30	0.69	Café	1.80	3.71	0.67
Café	2.78	2.77	0.88	Café	2.00	3.02	0.63	Café	1.74	2.31	0.41
Café	2.82	2.87	0.93	Café	1.90	3.13	0.61	Café	1.70	2.63	0.45
Café	1.58	2.30	0.36	Café	1.69	1.76	0.31	Café	1.95	3.59	0.72
Café	2.43	2.90	0.78	Café	1.40	2.44	0.33	Café	1.40	2.14	0.29
Café	2.36	3.27	0.84	Café	1.44	2.58	0.36	Café	2.20	3.27	0.77
Café	2.62	2.57	0.76	Café	1.78	3.03	0.55	Café	1.85	3.21	0.61
Café	2.10	3.20	0.71	Café	1.92	2.53	0.51	Café	1.80	3.41	0.62
Café	1.93	2.43	0.49	Café	1.47	2.21	0.32	Café	1.80	3.22	0.59
Café	1.99	2.79	0.58	Café	1.80	3.18	0.58	Café	1.86	3.29	0.62
Café	1.98	2.87	0.59	Café	1.73	2.68	0.47	Café	1.60	2.35	0.37
Café	1.65	2.24	0.37	Café	1.72	2.67	0.46	Café	1.78	2.47	0.45
Café	2.28	3.47	0.85	Café	1.98	2.37	0.50	Café	1.75	2.49	0.44
Café	1.97	2.61	0.54	Café	1.95	3.20	0.65	Café	1.90	2.89	0.57
Café	1.74	2.27	0.40	Café	1.40	1.80	0.25	Café	1.35	2.19	0.28
Café	2.03	2.75	0.59								
Café	1.92	2.87	0.57								
Café	1.93	2.47	0.50								
Café	2.36	2.97	0.77								
Café	1.81	2.98	0.55								
Café	1.95	2.80	0.57								
Café	1.95	2.52	0.52								
Café	1.70	2.69	0.46								
Café	1.55	2.45	0.38								
Café	1.90	3.21	0.63								
Café	1.92	3.11	0.62								
Café	1.88	2.80	0.54								
Café	1.56	3.12	0.48								
Café	2.10	2.65	0.59								
Café	2.00	2.38	0.50								
Total (kg/árbol)		34.59				23.91				24.66	
B (t/ha)		1.38				0.96				0.99	

Nota: Diámetro para café es a 15cm del suelo; B= Biomasa del café.

Cuadro 29. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 7 años (transectos A, B y C)

TRANSECTO A				TRANSECTO B				TRANSECTO C			
N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	2.33	4.35	1.08	Café	2.40	3.83	1.00	Café	2.70	4.32	1.30
Café	2.40	3.27	0.86	Café	3.30	3.18	1.25	Café	2.50	3.55	0.98
Café	3.15	4.04	1.48	Café	2.30	3.71	0.92	Café	2.55	5.25	1.45
Café	3.00	4.06	1.40	Café	3.20	4.39	1.63	Café	2.00	2.62	0.55
Café	2.90	3.48	1.16	Café	3.85	4.39	2.07	Café	2.93	4.39	1.46
Café	3.15	4.24	1.55	Café	2.86	5.42	1.73	Café	2.85	4.30	1.38
Café	2.50	3.25	0.90	Café	3.80	4.50	2.08	Café	2.60	3.17	0.92
Café	2.40	3.83	1.00	Café	3.60	3.18	1.40	Café	2.75	4.16	1.28
Café	2.72	4.11	1.25	Café	3.30	5.10	1.96	Café	2.55	3.70	1.04
Café	2.45	3.97	1.06	Café	2.78	3.80	1.19	Café	4.10	6.87	3.43
Café	2.50	4.43	1.21	Café	3.35	3.30	1.32	Café	2.30	2.97	0.74
Café	2.45	4.59	1.22	Café	2.85	5.14	1.64	Café	3.05	3.97	1.40
Café	3.50	5.67	2.34	Café	2.55	3.75	1.05	Café	2.20	3.87	0.90
Café	3.10	3.85	1.39	Café	3.30	4.03	1.57	Café	2.35	3.22	0.82
Café	2.70	4.79	1.43	Café	2.80	3.79	1.20	Café	2.40	3.24	0.85
Café	2.45	3.98	1.06	Café	3.42	3.07	1.27	Café	3.10	4.45	1.59
Café	2.50	5.00	1.35	Café	3.45	3.61	1.50	Café	2.50	3.41	0.94
Café	2.15	5.27	1.18	Café	3.70	4.52	2.02	Café	2.15	3.05	0.70
Café	2.63	4.82	1.39	Café	2.65	4.90	1.43	Café	1.95	2.82	0.57
Café	3.60	5.38	2.30	Café	2.60	4.11	1.18	Café	2.68	3.35	1.01
Café	3.50	5.27	2.18	Café	3.20	7.51	2.73	Café	1.85	2.36	0.45
Café	2.90	4.30	1.42	Café	3.50	5.77	2.38	Café	4.40	5.27	2.92
Café	2.70	4.89	1.46	Café	2.30	5.87	1.42	Café	3.35	5.01	1.97
Café	2.65	6.15	1.77	Café	2.60	3.88	1.12	Café	2.55	3.59	1.01

Café	2.72	3.69	1.13	Café	3.00	6.05	2.05	Café	2.35	3.45	0.88
Café	3.25	5.02	1.89	Café	3.40	3.87	1.57	Café	2.07	2.99	0.65
Café	2.50	3.84	1.05	Café	3.25	2.47	0.97	Café	2.27	3.60	0.88
Café	2.70	4.29	1.29	Café	4.00	8.58	4.11	Café	2.30	3.15	0.78
Café	2.55	3.92	1.10	Café	2.50	4.21	1.15	Café	2.60	4.29	1.23
Café	2.40	4.85	1.25					Café	4.00	5.25	2.57
Café	2.51	3.98	1.09					Café	3.80	6.25	2.85
Café	2.65	4.52	1.32					Café	2.60	3.92	1.13
Café	2.41	3.32	0.88					Café	2.15	3.91	0.88
Café	2.40	4.69	1.21					Café	1.80	2.88	0.53
Café	2.70	5.15	1.54					Café	2.50	3.91	1.07
Café	2.85	4.42	1.42					Café	2.35	3.19	0.82
Café	2.70	5.94	1.76					Café	2.10	3.26	0.72
Café	2.70	4.77	1.43					Café	1.65	2.44	0.40
Café	2.45	3.49	0.94					Café	2.42	3.57	0.94
Café	2.50	3.71	1.02					Café	2.67	4.01	1.19
Café	3.00	4.18	1.44					Café	2.12	3.03	0.68
Café	2.30	3.16	0.79					Café	3.48	3.26	1.37
Café	2.60	3.60	1.04					Café	2.22	3.04	0.72
Café	2.30	3.84	0.95								
Café	3.65	4.83	2.12								
Café	3.00	6.68	2.25								
Total (kg/árbol)		62.34				46.91				50.00	
B (t/ha)		2.49				1.88					

Nota: Diámetro para café es a 15cm del suelo; B= Biomasa del café.

Cuadro 30. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 4 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A				TRANSECTO B				TRANSECTO C			
N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	1.05	2.01	0.19	Café	1.25	2.55	0.30	Café	1.70	2.60	0.45
Café	1.47	2.47	0.35	Café	2.37	2.89	0.75	Café	1.68	2.47	0.42
Café	1.05	2.43	0.23	Café	2.10	3.73	0.82	Café	1.64	2.57	0.42
Café	1.35	2.35	0.30	Café	2.15	3.01	0.69	Café	1.75	2.43	0.43
Café	1.03	2.52	0.23	Café	1.60	1.90	0.31	Café	1.30	2.08	0.26
Café	1.36	2.55	0.33	Café	1.70	2.86	0.49	Café	1.65	3.01	0.49
Café	1.18	2.37	0.26	Café	1.80	2.86	0.53	Café	1.52	2.66	0.39
Café	1.22	2.42	0.27	Café	1.80	3.00	0.55	Café	1.86	2.85	0.54
Café	1.45	2.69	0.38	Café	2.10	3.45	0.76	Café	1.73	2.48	0.44
Café	0.92	1.65	0.13	Café	1.70	2.96	0.50	Café	1.80	2.67	0.49
Café	1.18	1.99	0.22	Café	1.78	3.24	0.58	Café	1.67	2.49	0.42
Café	1.40	2.52	0.34	Café	1.53	2.23	0.34	Café	1.76	2.44	0.44
Café	1.30	2.21	0.27	Café	1.72	3.41	0.59	Café	1.85	2.36	0.45
Café	1.05	2.45	0.23	Café	1.82	3.01	0.56	Café	1.90	2.54	0.50
Café	1.48	3.03	0.43	Café	1.45	2.69	0.38	Café	1.58	2.61	0.41
Café	1.58	3.25	0.50	Café	1.95	2.95	0.60	Café	1.75	2.47	0.44
Café	1.36	2.21	0.29	Café	1.78	2.57	0.47	Café	1.85	2.95	0.56
Café	1.75	3.27	0.58	Café	1.83	2.82	0.53	Café	1.80	3.09	0.56
Café	1.65	2.49	0.41	Café	1.56	2.36	0.36	Café	1.68	3.02	0.51
Café	1.25	2.64	0.31	Café	1.15	2.28	0.24	Café	1.84	3.28	0.62
Café	1.40	2.57	0.34	Café	1.35	2.58	0.33	Café	1.68	2.73	0.46
Café	1.47	2.06	0.30	Café	1.30	2.26	0.28	Café	1.85	2.96	0.56
Café	1.24	2.07	0.24	Café	1.15	1.88	0.20	Café	1.74	2.76	0.49
Café	1.33	2.49	0.31	Café	1.47	2.94	0.42	Café	1.64	3.26	0.53
Café	1.44	2.24	0.31	Café	1.54	3.30	0.49	Café	1.72	3.15	0.54

Café	1.48	2.33	0.34	Café	1.60	3.26	0.51	Café	1.89	3.16	0.61
Café	1.60	2.64	0.42	Café	1.15	1.88	0.20	Café	1.95	2.75	0.56
Café	1.30	2.46	0.30	Café	0.88	1.59	0.12	Café	1.89	3.03	0.59
Café	1.70	2.73	0.47	Café	1.85	3.00	0.57	Café	1.85	3.16	0.60
Café	1.45	2.21	0.31	Café	1.40	1.97	0.27	Café	1.75	3.00	0.53
Café	1.55	2.54	0.39	Café	1.38	2.66	0.35	Café	1.86	2.91	0.56
Café	0.85	1.94	0.14	Café	1.60	2.24	0.36	Café	1.90	2.91	0.57
Café	1.40	1.85	0.25	Café	1.95	3.17	0.64	Café	1.96	2.70	0.55
Café	1.50	2.36	0.35	Café	1.85	3.93	0.73	Café	1.20	1.59	0.18
Café	1.65	3.52	0.57	Café	1.80	3.11	0.57	Café	1.95	3.56	0.72
Café	1.35	2.21	0.29	Café	2.40	3.96	1.03	Café	1.90	2.80	0.55
Café	1.34	3.22	0.40	Café	1.80	2.79	0.51	Café	2.25	3.11	0.75
Café	1.72	2.94	0.51	Café	1.28	2.28	0.27	Café	1.85	2.22	0.43
Café	1.58	2.54	0.40	Café	1.57	2.94	0.45	Café	1.46	3.26	0.45
Café	1.65	3.14	0.51	Café	1.25	1.83	0.22	Café	1.75	2.69	0.48
Café	1.78	3.36	0.60	Café	1.10	1.71	0.17	Café	1.56	2.80	0.43
Café	1.65	3.37	0.55	Café	1.70	2.57	0.44	Café	1.98	2.36	0.49
				Café	1.76	2.67	0.48	Café	1.67	2.90	0.48
				Café	1.35	2.71	0.35	Café	1.65	2.47	0.41
				Café	2.07	2.68	0.59	Café	1.66	2.87	0.47
								Café	1.49	2.26	0.33
								Café	1.85	2.53	0.48
								Café	1.87	2.57	0.50
								Café	1.65	2.66	0.44
								Café	1.65	2.57	0.42
								Café	1.78	2.90	0.52
								Café	1.78	2.70	0.49
Total (kg/árbol)	14.53			20.87			25.41				
B (t/ha)	0.58			0.83			1.02				

Nota: Diámetro para café es a 15 cm del suelo; B= Biomasa del café.

Cuadro 31. Altura, diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 7 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A				TRANSECTO B				TRANSECTO C			
N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	Altura (m)	Diámetro (cm)	B (kg/árbol)
Café	3.30	4.01	1.56	Café	3.40	7.55	2.96	Café	3.00	4.25	1.46
Café	2.45	4.26	1.13	Café	3.50	7.34	2.99	Café	3.40	3.86	1.57
Café	2.75	2.41	0.76	Café	3.70	8.30	3.60	Café	2.80	3.71	1.18
Café	2.37	2.40	0.63	Café	3.15	4.06	1.49	Café	3.10	4.11	1.48
Café	2.95	2.62	0.90	Café	3.20	4.78	1.77	Café	3.20	3.80	1.43
Café	3.15	3.50	1.29	Café	3.40	3.86	1.57	Café	3.25	4.37	1.66
Café	3.14	3.29	1.21	Café	3.30	2.93	1.16	Café	2.70	3.97	1.20
Café	2.85	2.86	0.94	Café	3.40	3.23	1.32	Café	3.25	4.13	1.57
Café	3.30	2.94	1.16	Café	3.70	4.88	2.17	Café	2.90	3.79	1.26
Café	2.15	2.00	0.47	Café	3.05	3.16	1.13	Café	3.25	3.37	1.30
Café	2.65	3.13	0.93	Café	3.25	3.23	1.25	Café	2.90	3.92	1.30
Café	2.95	6.23	2.06	Café	3.25	4.57	1.73	Café	3.25	4.34	1.65
Café	1.95	3.19	0.64	Café	3.35	3.59	1.43	Café	3.20	4.10	1.53
Café	2.35	3.76	0.95	Café	2.10	2.93	0.65	Café	3.20	4.13	1.54
Café	2.15	2.28	0.53	Café	32.50	3.21	23.06	Café	3.50	3.95	1.66
Café	2.40	2.12	0.57	Café	3.55	4.62	1.96	Café	3.20	3.85	1.44
Café	2.85	2.95	0.97	Café	3.25	4.44	1.69	Café	3.35	4.07	1.61
Café	3.50	3.05	1.30	Café	3.40	4.24	1.71	Café	2.80	4.26	1.34
Café	3.65	3.67	1.63	Café	3.45	3.41	1.42	Café	3.30	3.77	1.47
Café	3.60	3.43	1.50	Café	2.00	5.66	1.15	Café	3.25	3.87	1.48
Café	3.55	6.09	2.55	Café	2.95	5.07	1.69	Café	3.05	3.54	1.26
Café	3.60	5.91	2.52	Café	1.68	2.99	0.50	Café	3.30	3.93	1.53
Café	3.40	2.98	1.22	Café	2.20	2.70	0.64	Café	3.25	3.41	1.31
Café	3.35	2.52	1.02	Café	2.85	3.21	1.05	Café	3.50	4.01	1.68
Café	2.15	4.92	1.10	Café	3.00	5.00	1.70	Café	3.20	3.69	1.39
Café	2.20	5.16	1.18	Café	3.50	4.48	1.87	Café	3.60	3.95	1.72
Café	2.60	4.08	1.17	Café	2.00	3.15	0.66	Café	3.40	4.13	1.67
Café	2.65	4.36	1.28	Café	2.30	2.54	0.64	Café	3.45	3.76	1.55
Café	3.10	4.86	1.73	Café	2.85	2.92	0.96	Café	3.00	4.24	1.46
Café	2.95	4.92	1.64	Café	3.75	5.70	2.57	Café	3.25	4.26	1.62
Café	3.40	5.21	2.08	Café	2.00	2.12	0.45	Café	3.30	3.97	1.54

Café	2.65	2.30	0.70	Café	3.25	3.56	1.37	Café	3.20	4.06	1.52
Café	2.90	2.26	0.77	Café	3.50	5.70	2.35	Café	3.40	4.59	1.84
Café	3.40	6.05	2.40					Café	3.50	4.27	1.79
Café	3.00	6.22	2.10					Café	3.40	3.69	1.50
Café	1.90	2.84	0.56					Café	3.75	4.23	1.93
Café	3.05	2.15	0.78					Café	3.50	3.33	1.41
Café	3.00	3.45	1.20					Café	2.60	3.59	1.04
Café	3.15	3.53	1.30					Café	3.80	4.21	1.96
Café	2.60	5.00	1.42					Café	3.30	3.87	1.51
Café	3.25	4.23	1.61					Café	3.10	3.92	1.41
Café	2.85	5.00	1.60					Café	3.60	3.56	1.56
Café	3.25	3.57	1.37					Café	3.50	3.79	1.59
Café	3.40	4.66	1.87					Café	3.15	4.32	1.58
Café	3.35	5.72	2.23					Café	3.25	2.12	0.84
Café	3.25	7.36	2.73					Café	3.30	3.38	1.33
								Café	3.35	3.43	1.37
								Café	2.90	3.42	1.14
								Café	3.10	4.33	1.55
								Café	3.50	4.24	1.77
								Café	3.40	3.57	1.45
								Café	3.50	4.19	1.75
								Café	3.80	4.33	2.01
								Café	3.50	4.27	1.79
								Café	3.60	3.89	1.69
								Café	3.55	3.99	1.70
								Café	3.10	4.22	1.51
								Café	3.25	3.27	1.26
								Café	3.55	4.46	1.90
								Café	3.70	3.99	1.80
								Café	3.25	4.07	1.55
Total (kg/árbol)		61.31				72.65				92.91	
B (t/ha)		2.45				2.91				3.72	

Nota: Diámetro para café es a 15 cm del suelo; B= Biomasa del café.

Cuadro 32. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años (transectos A, B y C)

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	18.14	106.53	Guaba	28.65	306.96	Guaba	30.24	347.93
Guaba	22.28	171.47	Guaba	30.24	347.93	Guaba	31.83	391.84
Guaba	27.69	283.77	Guaba	31.83	391.84	Guaba	23.87	201.20
Guaba	21.65	160.33	Guaba	19.10	119.97	Guaba	16.87	90.00
Guaba	26.74	261.61	Guaba	36.92	552.65	Guaba	17.19	93.99
Guaba	14.96	68.13	Guaba	17.83	102.25	Guaba	21.96	165.85
Guaba	21.33	154.92	Guaba	33.74	448.47	Guaba	27.37	276.27
Guaba	19.74	129.44				Guaba	30.24	347.93
						Guaba	40.74	694.24
Total (kg/árbol)		1336.22			2270.07			2609.24
BA (t/ha)		26.72			45.40			52.18

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 33. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años (transectos A, B y C)

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	13.05	49.65	Guaba	22.92	183.04	Guaba	13.05	49.65
Guaba	19.10	119.97	Guaba	39.79	657.12	Guaba	13.37	52.50
Guaba	11.14	34.41	Guaba	30.88	365.14	Guaba	28.97	314.92
Guaba	11.14	34.41	Guaba	18.46	110.91	Guaba	29.28	323.00
Guaba	8.91	20.52						
Total (kg/árbol)		258.97			1316.20			740.07
BA (t/ha)		5.18			26.32			14.80

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 34. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 4 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	23.55	195.04	Guaba	38.20	597.81	Guaba	30.88	365.14
Guaba	18.14	106.53	Guaba	34.06	458.34	Guaba	21.96	165.85
Guaba	37.88	586.34	Guaba	14.96	68.13	Guaba	36.61	541.68
Guaba	2.86	1.48	Guaba	23.87	201.20	Guaba	21.65	160.33
Guaba	37.56	574.98	Guaba	30.56	356.47			
Guaba	13.37	52.50						
Total (kg/árbol)		1516.86			1681.95			1233.00
BA (t/ha)		30.34			33.64			24.66

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 35. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Túpac Amaru de 7 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	27.69	283.77	Guaba	25.46	233.65	Guaba	27.69	283.77
Guaba	17.19	93.99	Guaba	26.42	254.45	Guaba	14.64	64.82
Guaba	25.46	233.65	Guaba	26.10	247.41	Guaba	6.68	10.54
Guaba	10.19	27.96	Guaba	15.92	78.64	Guaba	25.78	240.47
Guaba	23.24	188.98	Guaba	12.10	41.64	Guaba	14.01	58.48
Guaba	18.78	115.39	Guaba	8.91	20.52	Guaba	17.19	93.99
			Guaba	22.92	183.04	Guaba	27.69	283.77
			Guaba	28.65	306.96	Guaba	13.05	49.65
			Guaba	26.42	254.45			
			Guaba	14.96	68.13			
Total (kg/árbol)		943.74			1688.88			1085.49
BA (t/ha)		18.87			33.78			21.71

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 36. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 4 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	18.14	106.53	Guaba	15.28	71.54	Guaba	11.14	34.41
Guaba	16.23	82.33	Guaba	11.46	36.73	Guaba	17.19	93.99
Guaba	13.69	55.44	Guaba	11.14	34.41	Guaba	13.69	55.44
Guaba	13.37	52.50	Guaba	12.10	41.64	Guaba	14.96	68.13
Guaba	14.64	64.82	Guaba	16.23	82.33	Guaba	17.51	98.07
Guaba	15.28	71.54	Guaba	17.51	98.07	Guaba	15.60	75.04
Guaba	16.55	86.12	Guaba	15.28	71.54	Guaba	13.37	52.50
			Guaba	7.32	13.01	Guaba	14.32	61.60
			Guaba	7.64	14.36			
Total (kg/árbol)		519.28			463.62			539.18
BA (t/ha)		10.39			9.27			10.78

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 37. Diámetro y biomasa vegetal (estrato superior) de la zona de Chipaquillo de 7 años (transectos A, B y C).

TRANSECTO A			TRANSECTO B			TRANSECTO C		
N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)	N. Común	DAP (cm)	B (kg/árbol)
Guaba	8.28	17.28	Guaba	26.42	254.45	Guaba	21.65	160.33
Guaba	7.96	15.78	Guaba	20.37	139.32	Guaba	21.65	160.33
Guaba	5.09	5.61	Guaba	13.69	55.44	Guaba	25.15	226.94
Guaba	17.51	98.07				Guaba	19.74	129.44
Guaba	14.64	64.82				Guaba	26.42	254.45
Guaba	14.01	58.48						
Total (kg/árbol)		260.04			449.22			931.50
BA (t/ha)		5.20			8.98			18.63

Nota: Diámetro para guaba es a 1.30m del suelo; BA= Biomasa de la guaba.

Cuadro 38. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años.

Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	656.30	656.30	167.40	1.67	1.77
	A-2	807.40	807.40	187.00	1.87	
B	B-1	93.90	93.90	22.30	0.22	0.37
	B-2	231.20	231.20	51.70	0.52	
C	C-1	294.40	294.40	71.30	0.71	0.84
	C-2	319.40	319.40	97.40	0.97	
PROMEDIO						1.00
CARBONO (t/ha)						2.99

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 39. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.

Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	658.50	658.50	126.00	1.26	1.55
	A-2	798.20	798.20	184.50	1.85	
B	B-1	472.10	472.10	109.20	1.09	1.42
	B-2	386.40	386.40	175.00	1.75	
C	C-1	569.60	569.60	233.00	2.33	2.07
	C-2	657.70	657.70	181.40	1.81	
PROMEDIO						1.68
CARBONO (t/ha)						5.05

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 40. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Túpac Amaru de 4 años.

Área de muestreo: 1 m x 1 m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	318.70	318.70	78.60	0.79	0.75
	A-2	278.40	278.40	70.60	0.71	
B	B-1	61.30	61.30	28.80	0.29	0.32
	B-2	99.70	99.70	34.70	0.35	
C	C-1	175.30	175.30	55.20	0.55	0.56
	C-2	131.30	131.30	56.70	0.57	
PROMEDIO						0.54
CARBONO (t/ha)						1.62

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 41. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Túpac Amaru de 7 años.

Área de muestreo: 1m x 1m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	263.30	263.30	110.40	1.10	0.78
	A-2	125.90	125.90	45.70	0.46	
B	B-1	209.00	209.00	63.30	0.63	0.54
	B-2	146.30	146.30	43.70	0.44	
C	C-1	277.30	277.30	78.10	0.78	.088
	C-2	244.10	244.10	97.10	0.97	
PROMEDIO						0.73
CARBONO (t/ha)						2.19

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 42. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Chipaquillo de 4 años.

Área de muestreo: 1m x 1m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	335.80	335.80	98.40	0.98	0.66
	A-2	162.60	162.60	33.90	0.34	
B	B-1	617.20	617.20	159.20	1.59	1.40
	B-2	308.90	308.90	120.00	1.20	
C	C-1	406.10	406.10	169.40	1.69	1.34
	C-2	463.30	463.30	98.00	0.98	
PROMEDIO						1.13
CARBONO (t/ha)						3.39

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 43. Biomasa arbustiva/herbácea de la zona de Chipaquillo de 7 años.

Área de muestreo: 1m x 1m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	223.40	223.40	44.60	0.45	0.42
	A-2	212.50	212.50	39.70	0.40	
B	B-1	110.10	110.10	15.70	0.16	0.58
	B-2	686.50	686.50	100.00	1.00	
C	C-1	114.50	114.50	12.60	0.13	0.42
	C-2	180.30	180.30	70.50	0.71	
PROMEDIO						0.47
CARBONO (t/ha)						1.42

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 44. Biomasa en la hojarasca de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	776.80	269.20	205.20	23.68	27.92
	A-2	1118.50	354.60	254.80	32.15	
B	B-1	968.40	317.10	245.60	30.00	26.50
	B-2	696.80	249.20	205.70	23.01	
C	C-1	1145.80	436.30	290.70	30.54	22.72
	C-2	615.20	153.80	93.20	14.91	
PROMEDIO						25.72
CARBONO (t/ha)						77.15

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 45. Biomasa en la hojarasca de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	354.60	138.60	80.80	8.27	10.24
	A-2	343.80	135.80	120.50	12.20	
B	B-1	314.80	128.70	104.70	10.24	12.07
	B-2	590.80	272.60	160.40	13.91	
C	C-1	562.80	265.50	172.30	14.61	13.25
	C-2	375.60	143.90	113.80	11.88	
PROMEDIO						11.85
CARBONO (t/ha)						35.56

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 46. Biomasa en la hojarasca de la zona de Túpac Amaru de 4 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	540.80	185.20	134.40	15.70	11.23
	A-2	233.60	83.40	60.40	6.77	
B	B-1	295.60	98.90	77.60	9.28	10.46
	B-2	379.60	119.90	91.90	11.64	
C	C-1	349.60	112.40	86.80	10.80	12.34
	C-2	464.80	166.20	124.10	13.88	
PROMEDIO						11.34
CARBONO (t/ha)						34.03

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 47. Biomasa en la hojarasca de la zona de Túpac Amaru de 7 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	418.00	104.50	92.60	14.82	14.62
	A-2	422.50	130.50	111.40	14.43	
B	B-1	525.50	381.30	245.90	13.56	15.29
	B-2	510.60	235.20	196.00	17.02	
C	C-1	485.20	142.30	127.80	17.43	15.76
	C-2	415.60	153.60	130.10	14.08	
PROMEDIO						15.22
CARBONO (t/ha)						45.66

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 48. Biomasa en la hojarasca de la zona de Chipaquillo de 4 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	450.60	101.40	80.90	14.38	13.20
	A-2	402.20	78.30	58.50	12.02	
B	B-1	228.90	82.20	62.20	6.93	13.08
	B-2	680.20	317.00	224.00	19.23	
C	C-1	434.80	133.70	116.80	15.19	12.11
	C-2	320.50	84.60	59.60	9.03	
PROMEDIO						12.80
CARBONO (t/ha)						38.39

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 49. Biomasa en la hojarasca de la zona de Chipaquillo de 7 años.

Área de muestreo: 0.5m x 0.5m.

Transecto	Código	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	A-1	256.80	89.00	73.40	8.47	9.66
	A-2	342.80	85.70	67.80	10.85	
B	B-1	339.50	109.80	86.10	10.65	11.58
	B-2	431.50	152.90	110.90	12.52	
C	C-1	506.30	176.80	124.20	14.23	13.72
	C-2	456.50	144.80	104.80	13.22	
PROMEDIO						11.65
CARBONO (t/ha)						34.96

PFT: Peso fresco total; PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 50. Biomasa de raíces de la zona de J. M. Ugarteche de 4 años años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	124.70	0.046	2.8688	4.26
	20	0.16	45.50	0.019	1.1625	
	30	0.16	20.00	0.004	0.2250	
B	10	0.16	55.20	0.022	1.3625	1.73
	20	0.16	16.60	0.004	0.2500	
	30	0.16	3.20	0.002	0.1125	
C	10	0.16	48.00	0.015	0.9625	1.28
	20	0.16	12.50	0.003	0.1625	
	30	0.16	6.60	0.002	0.1500	
PROMEDIO						2.42
CARBONO (t/ha)						7.26

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 51. Biomasa de raíces de la zona de J. M. Ugarteche de 7 años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	69.60	0.021	1.2938	2.23
	20	0.16	37.20	0.012	0.7625	
	30	0.16	6.90	0.003	0.1688	
B	10	0.16	59.90	0.021	1.3000	1.69
	20	0.16	11.20	0.004	0.2250	
	30	0.16	8.20	0.003	0.1688	
C	10	0.16	26.40	0.006	0.3813	1.39
	20	0.16	18.10	0.008	0.5000	
	30	0.16	12.30	0.008	0.5063	
PROMEDIO						1.77
CARBONO (t/ha)						5.31

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 52. Biomasa de raíces de la zona de Túpac Amaru de 4 años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	26.40	0.011	0.6813	0.94
	20	0.16	9.20	0.002	0.1250	
	30	0.16	6.20	0.002	0.1313	
B	10	0.16	64.20	0.032	2.0250	4.82
	20	0.16	47.30	0.033	2.0625	
	30	0.16	23.30	0.012	0.7313	
C	10	0.16	33.10	0.014	0.8875	3.73
	20	0.16	46.40	0.040	2.4875	
	30	0.16	12.50	0.006	0.3563	
PROMEDIO						3.16
CARBONO (t/ha)						9.49

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 53. Biomasa de raíces de la zona de Túpac Amaru de 7 años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	70.60	0.032	2.0250	4.22
	20	0.16	36.00	0.015	0.9375	
	30	0.16	28.90	0.020	1.2563	
B	10	0.16	58.00	0.024	1.4875	3.16
	20	0.16	30.60	0.018	1.1500	
	30	0.16	22.20	0.008	0.5250	
C	10	0.16	35.00	0.017	1.0625	2.83
	20	0.16	25.60	0.014	0.8625	
	30	0.16	20.30	0.014	0.9000	
PROMEDIO						3.40
CARBONO (t/ha)						10.21

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 54. Biomasa de raíces de la zona de Chipaquillo de 4 años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	38.00	0.007	0.4625	1.45
	20	0.16	22.80	0.011	0.6875	
	30	0.16	13.60	0.005	0.3000	
B	10	0.16	9.10	0.002	0.1438	0.72
	20	0.16	9.20	0.003	0.1625	
	30	0.16	8.20	0.007	0.4125	
C	10	0.16	34.20	0.013	0.8188	1.68
	20	0.16	24.90	0.010	0.6000	
	30	0.16	15.60	0.004	0.2625	
PROMEDIO						1.28
CARBONO (t/ha)						3.85

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 55. Biomasa de raíces de la zona de Chipaquillo de 7 años.

Transecto	Profundidad (cm)	Área muestreada (m ²)	PFM (g)	PS (kg)	Biomasa (t/ha)	Biomasa Promedio
A	10	0.16	23.60	0.009	0.5313	0.79
	20	0.16	13.10	0.002	0.1500	
	30	0.16	8.30	0.002	0.1125	
B	10	0.16	78.90	0.027	1.6813	2.42
	20	0.16	33.20	0.003	0.1625	
	30	0.16	22.80	0.009	0.5750	
C	10	0.16	25.20	0.010	0.6063	2.44
	20	0.16	19.60	0.016	1.0125	
	30	0.16	16.30	0.013	0.8250	
PROMEDIO						1.89
CARBONO (t/ha)						5.66

PFM: Peso fresco de la muestra; PSM: Peso seco de la muestra.

Cuadro 56. Carbono almacenado en el suelo de la zona de J.M. Ugarteche.

EDAD	TRANS	COD	PROF. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS/trans (t/ha)
4	A	A-1	0-10cm	0.1	40.09	58.2	1.45	1451.85	2.82	40.94	74.17
		A-2	10-20cm	0.1	40.09	53.8	1.34	1342.09	2.16	28.99	
		A-3	20-30cm	0.1	40.09	51.5	1.28	1284.71	0.33	4.24	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.09	59.8	1.49	1491.76	0.66	9.85	21.66
		B-2	10-20cm	0.1	40.09	54.8	1.37	1367.03	0.56	7.66	
		B-3	20-30cm	0.1	40.09	50.5	1.26	1259.77	0.33	4.16	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.09	60.8	1.52	1516.71	1.13	17.14	24.20
		C-2	10-20cm	0.1	40.09	58.8	1.47	1466.82	0.33	4.84	
		C-3	20-30cm	0.1	40.09	52.4	1.31	1307.16	0.17	2.22	
Promedio											40.01
7	A	A-1	0-10cm	0.1	40.09	56.3	1.40	1404.45	2.65	37.22	85.52
		A-2	10-20cm	0.1	40.09	54.4	1.36	1357.05	2.16	29.31	
		A-3	20-30cm	0.1	40.09	51.1	1.27	1274.73	1.49	18.99	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.09	59.1	1.47	1474.30	2.65	39.07	7.04
		B-2	10-20cm	0.1	40.09	56.5	1.41	1409.44	1.66	23.40	
		B-3	20-30cm	0.1	40.09	52.1	1.30	1299.68	0.66	8.58	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.09	59.8	1.49	1491.76	2.98	44.45	91.02
		C-2	10-20cm	0.1	40.09	55.9	1.39	1394.47	1.99	27.75	
		C-3	20-30cm	0.1	40.09	53.5	1.33	1334.60	1.41	18.82	
Promedio											82.53

Ps: Profundidad del espesor; VCH: Volumen del cilindro; PSN: Peso seco del suelo dentro del cilindro; DA: Densidad aparente; PVs: Peso del volumen del suelo; C: Porcentaje de carbono; CS: Carbono en el suelo.

Cuadro 57. Carbono almacenado en el suelo de la zona de Tupac Amaru.

EDAD	TRANS	COD	PROF. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS/trans (t/ha)
4	A	A-1	0-10cm	0.1	40.78	61.2	1.50	1500.81	2.82	42.32	77.39
		A-2	10-20cm	0.1	40.78	56.4	1.38	1383.10	1.41	19.50	
		A-3	20-30cm	0.1	40.78	53.8	1.32	1319.34	1.18	15.57	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.78	60.3	1.48	1478.74	2.82	41.70	83.51
		B-2	10-20cm	0.1	40.78	57.8	1.42	1417.43	1.82	25.80	
		B-3	20-30cm	0.1	40.78	56.3	1.38	1380.65	1.16	16.02	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.78	60.1	1.47	1473.84	2.07	30.51	64.68
		C-2	10-20cm	0.1	40.78	58.2	1.43	1427.24	1.33	18.98	
		C-3	20-30cm	0.1	40.78	53.4	1.31	1309.53	1.16	15.19	
Promedio											75.20
7	A	A-1	0-10cm	0.1	40.78	60.4	1.48	1481.19	2.16	31.99	50.00
		A-2	10-20cm	0.1	40.78	58.8	1.44	1441.96	1.09	15.72	
		A-3	20-30cm	0.1	40.78	54.9	1.35	1346.32	0.17	2.29	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.78	58.5	1.43	1434.60	1.13	16.21	31.44
		B-2	10-20cm	0.1	40.78	57.5	1.41	1410.08	0.76	10.72	
		B-3	20-30cm	0.1	40.78	55.8	1.37	1368.39	0.33	4.52	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.78	58.3	1.43	1429.69	0.99	14.15	28.18
		C-2	10-20cm	0.1	40.78	55.8	1.37	1368.39	0.70	9.58	
		C-3	20-30cm	0.1	40.78	54.9	1.35	1346.32	0.33	4.44	
Promedio											36.54

Ps: Profundidad del espesor; VCH: Volumen del cilindro; PSN: Peso seco del suelo dentro del cilindro; DA: Densidad aparente; PVs: Peso del volumen del suelo; C: Porcentaje de carbono; CS: Carbono en el suelo.

Cuadro 58. Carbono almacenado en el suelo de la zona de Chipaquillo.

EDAD	TRANS	COD	PROF. (cm)	Ps (m)	VCH (cc)	PSN (g)	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	CS/trans (t/ha)
4	A	A-1	0-10cm	0.1	40.09	55.1	1.37	1374.52	2.16	29.69	58.38
		A-2	10-20cm	0.1	40.09	51.1	1.27	1274.73	1.16	14.79	
		A-3	20-30cm	0.1	40.09	50.2	1.25	1252.28	1.11	13.90	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.09	55.1	1.37	1374.52	2.40	32.99	74.12
		B-2	10-20cm	0.1	40.09	53.1	1.32	1324.63	1.82	24.11	
		B-3	20-30cm	0.1	40.09	51.3	1.28	1279.72	1.33	17.02	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.09	52.6	1.31	1312.15	1.87	24.54	55.06
		C-2	10-20cm	0.1	40.09	52.1	1.30	1299.68	1.20	15.60	
		C-3	20-30cm	0.1	40.09	51.6	1.29	1287.21	1.16	14.93	
Promedio											62.52
7	A	A-1	0-10cm	0.1	40.09	58.9	1.47	1469.31	2.82	41.43	81.32
		A-2	10-20cm	0.1	40.09	56.8	1.42	1416.92	1.66	23.52	
		A-3	20-30cm	0.1	40.09	55.6	1.39	1386.99	1.18	16.37	
	B	B-1	0-10cm	0.1	40.09	59.2	1.48	1476.79	1.97	29.09	64.90
		B-2	10-20cm	0.1	40.09	57.6	1.44	1436.88	1.66	23.85	
		B-3	20-30cm	0.1	40.09	55.1	1.37	1374.52	0.87	11.96	
	C	C-1	0-10cm	0.1	40.09	57.8	1.44	1441.87	2.40	34.60	69.47
		C-2	10-20cm	0.1	40.09	56.6	1.41	1411.94	1.49	21.04	
		C-3	20-30cm	0.1	40.09	54.9	1.37	1369.53	1.01	13.83	
Promedio											71.90

Ps: Profundidad del espesor; VCH: Volumen del cilindro; PSN: Peso seco del suelo dentro del cilindro; DA: Densidad aparente; PVs: Peso del volumen del suelo; C: Porcentaje de carbono; CS: Carbono en el suelo.

Cuadro 59. Carbono almacenado en el fruto del café.

LUGAR	EDAD	TRANS	PMAC (g)	PMDC (g)	%C	PRODUCCIÓN (kg/ha)	CFC (t/ha)
J. M. Ugarteche	4	A	2.0	0.1128	16.73	800	0.13
		B	2.0	0.1124	16.79	800	0.13
		C	2.0	0.1129	16.71	800	0.13
	Promedio						0.13
	7	A	2.0	0.1063	17.81	700	0.12
		B	2.0	0.1061	17.85	700	0.12
		C	2.0	0.1067	17.74	700	0.12
Promedio						0.12	
Túpac Amaru	4	A	2.0	0.0982	19.37	600	0.12
		B	2.0	0.0988	19.24	600	0.12
		C	2.0	0.0977	19.47	600	0.12
	Promedio						0.12
	7	A	2.0	0.1033	18.36	500	0.09
		B	2.0	0.1036	18.31	500	0.09
		C	2.0	0.1031	18.40	500	0.09
Promedio						0.09	
Chipaquillo	4	A	2.0	0.1105	17.10	550	0.09
		B	2.0	0.1104	17.12	550	0.09
		C	2.0	0.1109	17.03	550	0.09
	Promedio						0.09
	7	A	2.0	0.0886	21.57	450	0.10
		B	2.0	0.0889	21.50	450	0.10
		C	2.0	0.0902	21.17	450	0.10
Promedio						0.10	

PMAC: Peso de la muestra antes de calentar; PMDC: Peso de la muestra después de calentar; C: Porcentaje de carbono; CFC: Carbono en el fruto de café.

Cuadro 60. Carbono almacenado total en el Sistema de Unidad de Tierra (SUT).

LUGAR	EDAD	TRANS	B (t/ha)	BA (t/ha)	BH (t/ha)	BAH (t/ha)	BR (t/ha)	BVT (t/ha)	CBV (t/ha)	CFC (t/ha)	CS (t/ha)	CT (t/ha)	
J. M. Ugarteche	4	A	2.43	26.72	27.92	1.77	4.26	63.10	28.40	0.13	74.17	102.70	
		B	2.41	45.40	26.50	0.37	1.73	76.41	34.38	0.13	21.66	56.18	
		C	2.95	52.18	22.72	0.84	1.28	79.98	35.99	0.13	24.20	60.33	
	Promedio		2.60	41.44	25.72	1.00	2.42	73.16	32.92	0.13	40.01	73.07	
	7	A	4.77	5.18	10.24	1.55	2.23	23.97	10.78	0.12	85.52	96.43	
		B	5.96	26.32	12.07	1.42	1.69	47.47	21.36	0.12	71.04	92.53	
		C	5.24	14.80	13.25	2.07	1.39	36.74	16.53	0.12	91.02	107.68	
	Promedio		5.32	15.43	11.85	1.68	1.77	36.06	16.23	0.12	82.53	98.88	
	Túpac Amaru	4	A	1.38	30.34	11.23	0.75	0.94	44.64	20.09	0.12	77.39	97.60
			B	0.96	33.64	10.46	0.32	4.82	50.19	22.59	0.12	83.51	106.21
C			0.99	24.66	12.34	0.56	3.73	42.28	19.03	0.12	64.68	83.82	
Promedio			1.11	29.55	11.34	0.54	3.16	45.70	20.57	0.12	75.20	95.88	
7		A	2.49	18.87	14.62	0.78	4.22	40.99	18.45	0.09	50.00	68.54	
		B	1.88	33.78	15.29	0.54	3.16	54.64	24.59	0.09	31.44	56.12	
		C	2.00	21.71	15.76	0.88	2.83	43.17	19.42	0.09	28.18	47.69	
Promedio			2.12	24.79	15.22	0.73	3.40	46.26	20.82	0.09	36.54	57.45	
Chipaquillo		4	A	0.58	10.39	13.20	0.66	1.45	26.28	11.83	0.09	58.38	70.30
			B	0.83	9.27	13.08	1.40	0.72	25.30	11.38	0.09	74.12	85.60
	C		1.02	10.78	12.11	1.34	1.68	26.93	12.12	0.09	55.06	67.28	
	Promedio		0.81	10.15	12.80	1.13	1.28	26.17	11.78	0.09	62.52	74.39	
	7	A	2.45	5.20	9.66	0.42	0.79	18.53	8.34	0.10	81.32	89.76	
		B	2.91	8.98	11.58	0.58	2.42	26.47	11.91	0.10	64.90	76.91	
		C	3.72	18.63	13.72	0.42	2.44	38.93	17.52	0.10	69.47	87.09	
	Promedio		3.02	10.94	11.65	0.47	1.89	27.98	12.59	0.10	71.90	84.59	

PMAC: Peso de la muestra antes de calentar; PMDC: Peso de la muestra después de calentar; C: Porcentaje de carbono; CFC: Carbono en el fruto de café.

Cuadro 61. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de J.M. Ugarteche.

AÑOS	Produc. De café (kg)	Precio (kg)	Ing. Bruto café (S/ha)	Costos (S/ha)	Ingreso neto (S/ha)
1		6.00	0.00	4777.50	-4777.50
2		6.00	0.00	1180.00	-1180.00
3	350	6.00	2100.00	1181.00	919.00
4	500	6.00	3000.00	1082.00	1918.00
5	500	6.00	3000.00	1173.00	1827.00
6	600	6.00	3600.00	1084.00	2516.00
7	600	6.00	3600.00	1085.00	2515.00
8	700	6.00	4200.00	1086.00	3114.00
9	700	6.00	4200.00	1087.00	3113.00
10	800	6.00	4800.00	1178.00	3622.00
VAN	14 % Anual				2783.30
TIR					23.86
B/C					1.66

Cuadro 62. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de Túpac Amaru.

AÑOS	Produc. De café (kg)	Precio (kg)	Ing. Bruto café (S/ha)	Costos (S/ha)	Ingreso neto (S/ha)
1		6.00	0.00	4798.50	-4798.50
2		6.00	0.00	1230.00	-1230.00
3	350	6.00	2100.00	1231.00	869.00
4	500	6.00	3000.00	1132.00	1868.00
5	600	6.00	3600.00	1223.00	2377.00
6	600	6.00	3600.00	1134.00	2466.00
7	700	6.00	4200.00	1135.00	3065.00
8	700	6.00	4200.00	1136.00	3064.00
9	800	6.00	4800.00	1137.00	3663.00
10	800	6.00	4800.00	1228.00	3572.00
VAN	14 % Anual				3283.84
TIR					25.22
B/C					1.78

Cuadro 63. Análisis del costo de establecimiento de una hectárea del sistema agroforestal de café de la zona de Chipaquillo.

AÑOS	Produc. De café (kg)	Precio (kg)	Ing. Bruto café (S/ha)	Costos (S/ha)	Ingreso neto (S/ha)
1		6.00	0.00	4777.50	-4777.50
2		6.00	0.00	1180.00	-1180.00
3	350	6.00	2100.00	1181.00	919.00
4	450	6.00	2700.00	1082.00	1618.00
5	450	6.00	2700.00	1173.00	1527.00
6	550	6.00	3300.00	1084.00	2216.00
7	550	6.00	3300.00	1085.00	2215.00
8	700	6.00	4200.00	1086.00	3114.00
9	700	6.00	4200.00	1087.00	3113.00
10	700	6.00	4200.00	1178.00	3022.00
<hr/>					
VAN	14 % Anual				2031.45
TIR					21.41
B/C					1.48

Anexo B: Panel fotográfico

Figura 18. Muestra de hojarasca recolectada para la obtención de la biomasa.



Figura 19. Muestra de hojarasca y herbácea en la estufa a 80 °C por 72 horas.



Figura 20. Peso fresco de la muestra de suelo de los diferentes estratos para ser analizado y obtener carbono en el suelo.



Figura 21. Secado de la muestra del suelo a diferentes estratos en la estufa a 80 °C por 72 horas.



Figura 22. Muestreo en campo de hojarasca y herbácea para la obtención de la biomasa.



Figura 23. Evaluación del diámetro de la planta de café a 15 cm del suelo con el vernier digital.