

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“CAPTURA DE CARBONO Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN LA
DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA”**

Presentada por:

JEAN CARLOS VALVERDE QUIROZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima-Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“CAPTURA DE CARBONO Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN LA
DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presentada por:

JEAN CARLOS VALVERDE QUIROZ

Ph.D. Sergio Pacsi Valdivia

PRESIDENTE

Mg.sc. Víctor Barrena Arroyo

ASESOR

Mg.Sc. Pedro Vásquez Ruesta

MIEMBRO

Mg.Sc. Roxana Guillen Quispe

MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis PADRES y HERMANOS por apoyarme y alentarme a alcanzar mis metas.

A mis AMIGOS por estar presentes en los momentos difíciles.

A Linda por su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

Al M. Sc. Víctor Barrena Arroyo, mi asesor, por su apoyo en el trabajo de tesis.

Al Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF), por permitirme desarrollar la tesis en el marco de su trabajo de investigación. Mi eterno agradecimiento a la PhD. Valentina Robiglio por su enseñanza y guía durante el desarrollo de la investigación y a lo largo de mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| I. Introducción..... | 1 |
| II. Revisión de literatura..... | 3 |
| 2.1. Cobertura de la tierra | 3 |
| 2.2. Uso de la tierra | 3 |
| 2.3. Sistemas de uso de la tierra..... | 4 |
| 2.4. Cambio de la cobertura de la tierra..... | 5 |
| 2.5. Dinámicas del cambio de uso de la tierra..... | 7 |
| 2.6. Purmas | 8 |
| 2.7. Agroforestería | 9 |
| 2.8. Biomasa vegetal | 9 |
| 2.9. Estimación de biomasa y ecuaciones alométricas | 10 |
| 2.10. El ciclo del carbono | 11 |
| 2.11. Captura y stock de carbono en la biomasa | 11 |
| 2.12. La captura de carbono en los sistemas de uso de la tierra | 12 |
| 2.13. La captura de carbono en los sistemas agroforestales | 12 |
| 2.14. Los sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversidad..... | 13 |
| 2.15. Composición florística..... | 13 |
| 2.16. Diversidad florística..... | 14 |
| 2.17. Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA)..... | 14 |
| 2.18. Marco teórico avances en la investigación..... | 15 |
| III. Metodología..... | 19 |
| 3.1. Zona de estudio | 19 |
| 3.1.1. Localización geográfica..... | 19 |
| 3.1.2. Clima y fisiografía | 20 |
| 3.2. Materiales, equipos y herramientas | 20 |
| 3.2.1. Materiales..... | 20 |
| 3.2.2. Equipos..... | 20 |
| 3.2.3. Herramientas | 21 |
| 3.3. Metodología | 21 |
| 3.3.1. Estudio base | 21 |
| 3.3.2. Fase de campo primera etapa | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| a. | Identificación del ámbito de estudio | 21 |
| b. | Identificación de los actores | 22 |
| 3.3.3. | Fase de campo segunda etapa..... | 22 |
| a. | Identificación de las coberturas de la tierra..... | 24 |
| a.1. | Monte Real (MR) | 24 |
| a.2. | Purma Baja (PB)..... | 24 |
| a.3. | Purma Media (PM)..... | 24 |
| a.4. | Purma Alta (PA)..... | 24 |
| a.5. | Cacaotal (CA)..... | 24 |
| b. | Unidad de muestreo (UM)..... | 25 |
| b.1. | Unidad de muestreo 1 (UM1) | 25 |
| b.2. | Sub-unidad de muestreo 2 (UM2) | 25 |
| b.3. | Sub-unidad de muestreo 3 (UM3) | 25 |
| c. | Mediciones en la UM1 | 26 |
| c.1. | Inventario y medición de la vegetación | 26 |
| c.2. | Inventario y medición para necromasa | 26 |
| d. | Mediciones en la UM2 | 26 |
| d.1. | Inventario y medición de la vegetación | 26 |
| d.2. | Inventario y medición de la necromasa | 27 |
| e. | Mediciones en la UM3 | 27 |
| e.1. | Inventario de la vegetación | 27 |
| e.2. | Cosecha de la vegetación no arbórea..... | 27 |
| e.3. | Muestreo de hojarasca..... | 27 |
| e.4. | Muestreo de suelo y raíces | 28 |
| 3.3.4. | Fase de procesamiento y análisis | 30 |
| a. | Priorización y caracterización de la información de campo..... | 30 |
| b. | Análisis de la dinámica del cambio de uso de la tierra..... | 30 |
| c. | Estimación del stock de carbono..... | 30 |
| c.1. | Carbono en la biomasa aérea (CBA) | 31 |
| c.2. | Carbono en la biomasa no arbórea (CBNA)..... | 31 |
| c.3. | Carbono orgánico del suelo (COS)..... | 32 |
| c.4. | Carbono en la Hojarasca (CH)..... | 33 |
| c.5. | Carbono en la Necromasa (CN)..... | 33 |
| d. | Cálculo de la diversidad florística..... | 33 |

| | | |
|--------|--|----|
| e. | Análisis de significancia de la diversidad florística sobre la captura d | |
| | carbono | 34 |
| | Prueba de significancia Fisher de la regresión | 34 |
| | f. | |
| | Ubicación y análisis de las unidades de manejo (UM) en el espacio..... | 35 |
| IV. | Resultados y discusiones..... | 36 |
| 4.1. | Fase de campo primera etapa..... | 36 |
| 4.1.1. | Identificación del ámbito de estudio | 36 |
| 4.1.2. | Identificación de los actores | 36 |
| 4.2. | Fase de campo segunda etapa..... | 40 |
| 4.2.1. | Identifiación de las corberturas de la tierra..... | 40 |
| 4.2.2. | Unidades de muestreo (UM) | 41 |
| 4.2.3. | Medición de las unidades de muestreo | 44 |
| 4.2.4. | Inventario de la vegetación (UM1, UM2 y UM3)..... | 45 |
| a. | Evaluación de necromasa | 46 |
| b. | Hojarasca y vegetación no arbórea (UM3) | 47 |
| c. | Muestreo de suelo | 48 |
| 4.3. | Fase de procesamiento y análisis..... | 50 |
| 4.3.1. | Priorización y caracterización de la información de campo..... | 50 |
| 4.3.2. | Análisis de la dinámica del cambio de uso de la tierra..... | 50 |
| 4.3.3. | Estimación del stock de carbono en los usos de la tierra..... | 56 |
| a. | Carbono en la biomasa aérea..... | 56 |
| b. | Carbono en la hojarasca del suelo | 58 |
| c. | Carbono en las ramas y raíces sobre el suelo..... | 60 |
| d. | Carbono en la biomasa no arbórea | 62 |
| e. | Carbono en la necromasa..... | 64 |
| f. | Carbono orgánico del suelo | 66 |
| 4.3.4. | Carbono total por uso/cobertura de la tierra..... | 68 |
| 4.3.5. | Resultados de la diversidad florística en los usos de la tierra | 72 |
| a. | Composición florística..... | 72 |
| b. | Curva de acumulación de especies..... | 73 |
| 4.3.6. | Evaluación de la relación entre la captura de carbono y diversidad florística | 75 |
| 4.3.7. | Análisis de significancia de la diversidad florística en la captura de carbono | 76 |
| 4.3.8. | Ubicación y análisis de las unidades de manejo (UM) en el espacio..... | 77 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| V. | Conclusiones..... | 80 |
| VI. | Recomendaciones..... | 82 |
| VII. | Referencias bibliográficas..... | 83 |
| VIII. | Anexo..... | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1: Información general del productor y su parcela..... | 22 |
| Tabla 2: Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa. | 31 |
| Tabla 3: Información de los productores de cacao..... | 37 |
| Tabla 4: Detalle de las unidades de muestreo instaladas | 43 |
| Tabla 5: Carbono almacenado en la biomasa aérea. | 57 |
| Tabla 6: Carbono almacenado en la hojarasca del suelo..... | 59 |
| Tabla 7: Carbono almacenado en las ramas y raíces sobre el suelo. | 61 |
| Tabla 8: Carbono almacenado en la biomasa no arbórea..... | 63 |
| Tabla 9: Carbono almacenado en la necromasa. | 65 |
| Tabla 10: Carbono orgánico almacenado en el suelo..... | 67 |
| Tabla 11: Composición florística para cada uso de la tierra | 72 |
| Tabla 12: Cantidad de especies acumuladas por Unidad de Muestreo..... | 75 |
| Tabla 13: Resultados del análisis de regresión..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1: Vías evolutivas de los sistemas de uso de la tierra. | 5 |
| Figura 2: Vínculos entre actividades humanas y el uso/cobertura de la tierra..... | 7 |
| Figura 3: Mapa de Perú, indicando la ubicación del departamento de Ucayali y el distrito de Irazola | 19 |
| Figura 4: Esquema del procedimiento de la fase de campo. | 23 |
| Figura 5: Esquema de las unidades de muestreo. | 25 |
| Figura 6: Diagrama de flujo del procedimiento de la fases de procesamiento y análisis de los resultados..... | 29 |
| Figura 7: Conformación de la información obtenida en campo y análisis a realizar. | 30 |
| Figura 8: Ubicación de las Unidades de Muestreo (UM)..... | 39 |
| Figura 9: Histograma y <i>diagrama de cajas</i> de la edad de los productores de cacao. | 40 |
| Figura 10: Coberturas de la tierra. | 41 |
| Figura 11: Levantamiento de la Unidad de Muestreo (UM) | 42 |
| Figura 12: Delimitación de una parcela de cacao. | 42 |
| Figura 13: Identificación e inventario de la vegetación..... | 45 |
| Figura 14: Obtención de muestras botánicas. | 46 |
| Figura 15: Evaluación de la necromasa. | 47 |
| Figura 16: Evaluación de la hojarasca y a vegetación no arbórea..... | 47 |
| Figura 17: Picado, pesado y empaquetado de las muestras de vegetación. | 48 |
| Figura 18: Colecta, muestreo y empaquetado de la hojarasca. | 48 |
| Figura 19: Colecta de las muestras de suelo. | 49 |
| Figura 20: Preparación de las muestras para su transporte..... | 49 |
| Figura 21: Dinámica y transiciones del cambio de uso de la tierra en el distrito de Irazola | 52 |
| Figura 22: Conteo de las transiciones en el cambio de uso de la tierra en el distrito de Irazola. | 53 |
| Figura 23: Transiciones detalladas por periodos dentro de la dinámica del cambio de uso de la tierra..... | 55 |
| Figura 24: Promedio del carbono en la biomasa aérea por uso y cobertura de la tierra. | 58 |
| Figura 25: Promedio del carbono en la hojarasca por cobertura y uso de la tierra..... | 60 |
| Figura 26: Promedio del carbón almacenado en ramas y raíces sobre el suelo. | 62 |
| Figura 27: Promedio del carbono almacenado en la biomasa no arbórea..... | 64 |
| Figura 28: Promedio de carbono almacenado en la necromasa. | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 29: Promedio de Carbono Orgánico del suelo | 68 |
| Figura 30: Carbono promedio parcial y total por uso de la tierra | 69 |
| Figura 31: Carbono total promedio por uso de la tierra..... | 70 |
| Figura 32: Carbono total y valores máximos y mínimos obtenidos..... | 70 |
| Figura 33: Carbono registrado en la dinámica del cambio de uso de la tierra..... | 71 |
| Figura 34: Curva de acumulación de especies para las Purmas y Monte Real..... | 74 |
| Figura 35: Diversidad florística y la captura de carbono en los usos de la tierra | 76 |
| Figura 36: Caserío y UM en el mapa de pérdida de bosque (MINAM 2016) | 78 |
| Figura 37: Caseríos y UM en zonas de recuperación y tratamiento especial (ZF)..... | 79 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Página |
|---|--------|
| Anexo 1 Formato N° 01: Información general del productor y su finca | 92 |
| Anexo 2 Formato N° 02: Evaluación de la UM1 | 93 |
| Anexo 3 Formato N° 03: Evaluación de la UM2 | 94 |
| Anexo 4 Formato N° 04: Evaluación de la vegetación en la UM3 | 95 |
| Anexo 5 Formato N° 05: Evaluación de la necromasa..... | 96 |
| Anexo 6 Formato N° 06: Vegetación no arbórea UM3..... | 97 |
| Anexo 7 Formato N° 07: Hojarasca UM3 | 97 |
| Anexo 8 Formato N° 08: ramas y raíces sobre el suelo UM3..... | 98 |
| Anexo 9 Formato N° 09: Muestreo para carbono orgánico del suelo (COS) UM3 | 98 |

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue proporcionar una evaluación del carbono capturado en la dinámica del cambio de uso de la tierra de las actividades productivas de cacao y determinar su diversidad florística, en 19 centros poblados del distrito Irazola de la provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. Se realizó el levantamiento de la información en campo empleando el procedimiento basado en la metodología de muestreo *Rapid Carbon Stock appraisal* (RaCSA), modificada y adaptada a las condiciones del estudio. La muestra de productores de cacao fue previamente seleccionada en base al estudio de línea base “Diagnóstico de los Productores Familiares en la Amazonía Peruana”. Con la información obtenida en campo se obtuvo que las fincas de los productores de cacao muestran dos estructuras o comportamientos; la primera consiste en ciclos permanentes de purmas y cultivos agrícolas; la segunda en la transición de cultivos agrícolas o Purmas en sistemas agroforestales o cacaotales permanentes. Con los datos del inventario RaCSA se calculó el carbono almacenado en los diferentes componentes del ecosistema (carbono en la biomasa aérea, ramas y raíces sobre el suelo, no arbórea, hojarasca, en la necromasa y el carbono orgánico del suelo) para cada uno de los usos de la tierra (Monte real, cacaotales, Purmas altas, medias y bajas), con lo cual se estimó el carbono total (tC/ha) en la dinámica del cambio de uso de la tierra, obteniendo valores de 79.7 (Monte real), 44.8 (Purma Alta), 34.1 (Cacaotales), 28.3 (Purma Media) y 16.2 (Purma Baja). A partir del inventario se determinó la diversidad florística y se analizó el nivel de influencia sobre la captura de carbono, donde se demostró que a mayor diversidad florística la captura de carbono es superior independiente a la edad y el uso de la tierra. De esta forma y a partir de otros resultados obtenidos en el estudio, se determinó la compensación porcentual de captura de carbono que brinda las fincas de los productores de cacao que incluyen la dinámica del cambio de uso de la tierra y manejo de Purmas, en parcelas rotativas dentro de su sistema productivo.

ABSTRACT

The objective of this study was to provide an assessment of the carbon sequestered in the land-use change dynamics of cocoa production activities and to determine their floristic diversity, in 19 settlements of the Irazola district of Padre Abad province, Ucayali department. The information was collected using the procedure based on the Rapid Carbon Stock appraisal (RaCSA) sampling methodology, modified and adapted to the conditions of the study. The sample of cocoa producers was previously selected based on the baseline study "Diagnóstico de Productores Familiares en la Amazonía Peruana". With the information collected it was obtained that the farms of the cocoa producers show two structures or behaviors; the first consists of permanent cycles of *Purmas* and agricultural crops; the second in the transition of agricultural crops or *Purmas* in agroforestry systems or permanent cocoa plantations. With the RaCSA inventory data, the carbon stored in the different components of the ecosystem (carbon in the aerial biomass, branches and roots on the soil, non-tree, leaf litter, in the necromass and the organic carbon of the soil) was calculated for each of the land uses: Monte real (forest), *Cacaotal* (cocoa plantations), high, medium and low *Purmas* (fallow), with which the total carbon (tC/ha) was estimated in the dynamics of land use change, obtaining values of 79.7 (Monte Real), 44.8 (*Purma Alta*), 34.1 (*Cacaotales*), 28.3 (*Purma Media*) and 16.2 (*Purma Baja*). From the inventory, floristic diversity was determined and the level of influence on carbon sequestration was analyzed, where it was demonstrated that the greater the floristic diversity, the greater the carbon sequestration is independent of age and land use. In this way and from other results obtained in the study, it was determined the percentage compensation of carbon capture that provides the farms of cocoa producers that include the dynamics of land use change and management of *Purmas*, in rotating plots within their productive system.

Key words: Carbon; Land use change; agroforestry; cocoa; dynamic.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú posee más de 68 millones de hectáreas de bosques tropicales y se ubica en el segundo país con la más grande extensión de bosques amazónicos (después de Brasil), el cuarto en extensión de bosques tropicales y quinto en bosques primarios. Casi el 60% del territorio nacional se encuentra cubierto de bosques, llegando a tener una extensión aproximada de 69 020 330 ha hasta el año 2015. Es el país que tiene la segunda porción más grande de la cuenca amazónica, la cual contribuye de manera decisiva a la economía agrícola con cerca del 20% de las unidades agropecuarias del país, el 9% de la población total del Perú y el 22% de la población rural (INEI 2007); además, hace aportes importantes a la seguridad alimentaria del país al producir cantidades significativas de maíz, arroz, yuca, plátano, y palma aceitera, sumado a una creciente producción de cultivos de café y cacao.

La presente investigación se enfoca en el estudio de la captura de carbono y la diversidad florísticas en los distintos sistemas productivos y coberturas del bosque, influenciados por la dinámica del cambio de uso de la tierra a consecuencia de la actividad productiva de los agricultores del distrito de Irazola en la provincia de Padre Abad, región Ucayali. Esta investigación se enmarca en la fase SECURED LANDSCAPES - Securing Ecosystems and Carbon benefits by Unlocking Reversal of Emissions Drivers in Landscapes del proyecto de investigación Lessons and experiences from the Reduced Emission from All Land Use (REALU), donde se sintetiza los hallazgos y el aprendizaje del trabajo exploratorio sobre enfoques de paisaje hacia reducciones de emisiones, cuyos resultados apuntan a apoyar a los actores en la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD+). El objetivo del proyecto REALU fue el desarrollo a través de la investigación y acción, un conjunto de enfoques, metodologías y capacidades nacionales para implementar estrategias efectivas basadas en el paisaje para REDD+ dentro de un contexto de desarrollo sostenible, soberanía nacional, respeto por los derechos indígenas e integridad de un país. Fue implementado por ASB Partnership for the Tropical Forest Margins (ASB) y ejecutado por World Agroforestry Centre (ICRAF), con el apoyo financiero de Norway's Climate and Forest Initiative (NICFI) y Norwegian Agency for Development Cooperation (NORAD). En

este contexto el principal objetivo fue proporcionar una evaluación del impacto del cambio de uso de la tierra sobre la capacidad del mosaico bosque no bosque en la captura de carbono, además de reconstruir las trayectorias del cambio de uso de la tierra y los factores antropogénicos que influyen en la captura de carbono y la diversidad florística.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Las preocupaciones sobre el cambio de uso y cobertura de la tierra surgieron en la agenda de investigación sobre cambio ambiental global hace varias décadas con la constatación de que los procesos del cambio de uso de la tierra influyen sobre el clima. En la década de 1980, se destacaron los ecosistemas terrestres como fuentes y sumideros de carbono, lo cual subrayó la importancia de entender la dinámica del cambio de uso de la tierra en el ciclo del carbono (Lambin y Geist 2008).

Es por ello, que, en este capítulo, se abordarán los principales conceptos teóricos y definiciones de los sistemas y usos de la tierra; las coberturas y sus características biofísicas; y los conceptos de carbono, captura de carbono y diversidad florística, que sientan las bases para la presente investigación.

2.1. Cobertura de la tierra

Di Gregorio (2016) lo define como la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra, restringiéndolo a la descripción de la vegetación y elementos antrópicos. Además, añade la importancia de diferenciar este concepto de la definición de *uso de la tierra*. Así mismo Turner *et al.* (1995) y Lambin *et al.* (2003) la definen por los atributos de la superficie de la tierra y la subsuperficie inmediata, incluyendo la biota, el suelo, la topografía, las fuentes de agua (superficial y subterráneas) y las estructuras antropogénicas.

2.2. Uso de la tierra

Di Gregorio (2016) lo conceptualiza como los arreglos, actividades e insumos que el hombre realiza en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla en las condiciones deseadas. Fox *et al.* (2003) vinculan el uso de la tierra con la gestión de la tierra, las cuales son posibles de analizar con el uso de datos de detección remota a partir de su cobertura. También mencionan un vínculo estrecho entre la cobertura de la tierra y el uso de la tierra y cuya comprensión ha sido fundamental para vincular encuestas de hogares y

comunidades; censos demográficos y agrícolas; datos de mercado, entre otros. Turner *et al.* (1995) y Lambin *et al.* (2003) concuerdan al mencionar que el uso de la tierra son los propósitos por los cuales los humanos explotan la cobertura de la tierra, esto implica tanto la manera en que se manipulan los atributos biofísicos de la tierra como la intención subyacente a esa manipulación, es decir, el propósito por el cual se usa la tierra.

2.3. Sistemas de uso de la tierra

Verburg *et al.* (2006) lo definen como un tipo de uso de la tierra con factores biofísicos, económicos, sociales, culturales, políticos e institucionales interrelacionados con fuertes relaciones funcionales entre sí. Nair (2012) menciona que las estrategias para reducir los impactos negativos del cambio climático involucran actividades tales como la mejora de la resiliencia del suelo, mediante la adopción de sistemas eficientes de uso de la tierra, que mejoran la productividad primaria de la tierra. Matocha *et al.* (2012) añaden que identificar y priorizar los sistemas de uso de la tierra requiere de un análisis multidisciplinario que tenga en cuenta el potencial de un sistema para el secuestro de carbono, la capacidad de aumentar la resiliencia y la capacidad de las comunidades locales para implementar y mantener un proyecto. Van Noordwijk *et al.* (2012) mencionan que un sistema de uso de la tierra es susceptible y puede “colapsar” de forma ecológica por la aparición de plagas y enfermedades o debido al exceso de oferta del mercado, pero también es posible realizar reemplazos graduales o modificaciones del sistema de uso de la tierra por nuevas variantes del mismo o un nuevo sistema de uso de la tierra en su totalidad. Los sistemas de uso de la tierra tradicional han sufrido cambios en el tiempo en función a la interacción de factores socioeconómicos y tecnológicos. La Figura 1 ilustra los cambios, en particular, las transformaciones agrícolas provocadas por las economías de mercado en el pasado reciente, como la incorporación de cultivos comerciales exóticos que han llevado a la destrucción de muchos sistemas tradicionales de uso de la tierra (Kumar y Takeuchi 2009)

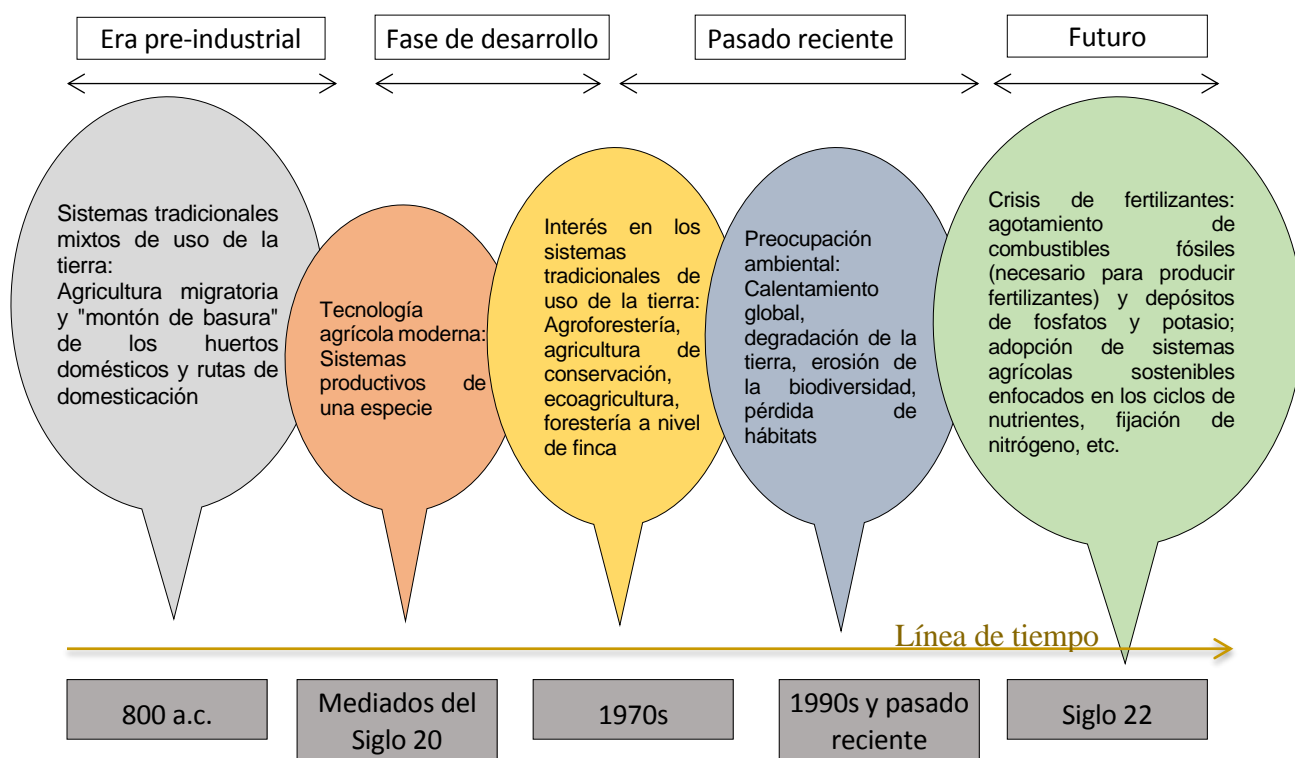


Figura 1: Vías evolutivas de los sistemas de uso de la tierra.

Fuente: Kumar y Takeuchi (2009)

2.4. Cambio de la cobertura de la tierra

Lambin y Geist (2008) mencionan que la conversión de la cobertura de la tierra constituye el reemplazo de un tipo de cubierta por otro y se mide por el cambio de una categoría de la tierra por otra, como es el caso de la expansión agrícola, deforestación o cambio de la cobertura para la extensión urbana. Estas categorías son las definidas por Di Gregorio y Jansen (2005), quienes propusieron dos fases en el cambio de la cobertura de la tierra: *Fase dicotómica*, con ocho tipos principales de cobertura de la tierra; y la *Fase Modular Jerárquica*, donde se confeccionaron un grupo de clasificadores para cada uno de las ocho principales coberturas de la tierra. Turner *et al.* (1990); Walker *et al.* (1999) y Cassman *et al.* (2005) concuerdan en que el cambio de la cobertura de la tierra se genera principalmente por la actividad humana, las cuales están dirigidas a la manipulación de la superficie de la tierra para satisfacer algunas necesidades individuales o sociales, como la agricultura.

Las ocho principales categorías de coberturas de la tierra

- Áreas Terrestres Cultivadas y Manejadas (Cultivated and Managed Terrestrial Areas).
- Vegetación Terrestre Natural y Semi-natural (Natural and Semi-Natural Terrestrial Areas).
- Áreas Cultivadas Acuáticas o Regularmente Inundadas (Cultivated Aquatic or Regularly Flooded Areas).
- Vegetación Natural y Semi-Natural Acuática o Regularmente Inundada (Natural and Semimatural Aquatic or Regularly Flooded Vegetation).
- Superficies Artificiales y Áreas Asociadas (Artificial Surfaces and Associated Areas).
- Áreas Descubiertas o Suelo Desnudo (Bare Areas)
- Cuerpos Artificiales de Agua, Nieve y Hielo (Artificial Waterbodies, Snow and Ice)
- Cuerpos Naturales de Agua, Nieve y Hielo (Natural Waterbodies, Snow, Ice).

Di Gregorio y Jansen (2005)

Turner *et al.* (1995) y Lambin *et al.* (2003) han conceptualizado los vínculos entre las actividades humanas y el cambio de uso/cobertura de la tierra, mencionan que el uso de la tierra es la suma de las causas proximales del cambio de cobertura de la tierra, es decir, las actividades humanas o acciones inmediatas que se originan de la manipulación de la cubierta terrestre. Las causas proximales (o directas) implican una acción física en la cobertura de la tierra y generalmente se limitan a un conjunto recurrente de actividades tales como agricultura, silvicultura y construcción de infraestructura, las cuales por lo general operan a nivel local, por ejemplo, de granjas individuales, hogares o comunidades.

En la Figura 2 se muestra como las causas proximales generan la *Cobertura de la tierra*, la cual puede sufrir 2 tipos de cambios: *Conversión de la cobertura terrestre*, constituye la sustitución de un tipo de cobertura por otro y se miden por el cambio de una categoría de cubierta terrestre a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación o la extensión urbana; *Modificación de la cobertura terrestre*, son cambios más sutiles que afectan el carácter de la cobertura terrestre sin cambiar su categoría. Cada una de estas coberturas de la tierra dentro del ecosistema terrestre, están afectados por los impactos ambientales y el contexto social, los cuales actúan como fuerzas impulsoras, generando distintos usos de la tierra.

El monitoreo de la conversión de la cubierta terrestre se puede realizar mediante una simple comparación de los mapas de la cobertura terrestre sucesivos. Por el contrario, la detección de las modificaciones de la cubierta terrestre requiere una representación continua de la cobertura

del suelo, donde los atributos de la superficie varían continuamente en el espacio, tiempo y en las escalas estacionales e interanuales (Lambin *et al.* 1999)

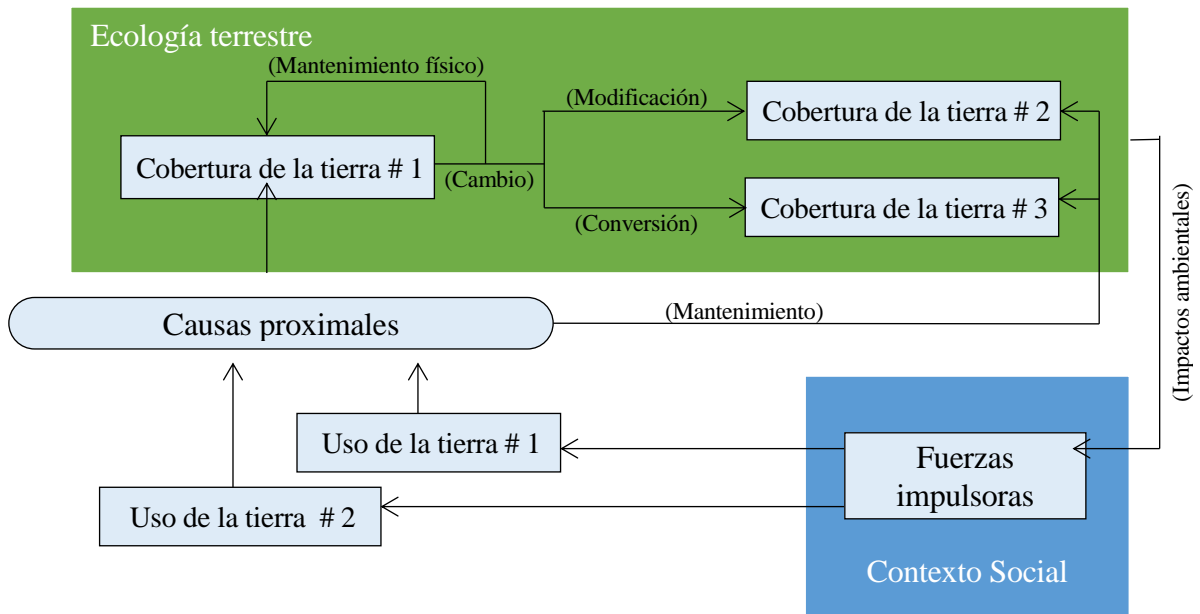


Figura 2: Vínculos entre actividades humanas y el uso/cobertura de la tierra.

Fuente: Turner *et al.* (1995)

2.5. Dinámicas del cambio de uso de la tierra

Geist *et al.* (2008) en su estudio de las causas y trayectorias del cambio de uso/cobertura de la tierra obtuvieron que en particular en las zonas tropicales se presentan los siguientes procesos:

- La urbanización (o el aumento de las áreas edificadas)
- Conversión de bosques en tierras de cultivo (expansión agrícola), implica un cambio de categoría.
- El cambio de un cultivo agrícola por otro, el cual implicará siempre un cambio de la intensidad en el uso de la tierra sin modificar la categoría (tiempo, insumos, espacio,...)
- El uso más intensivo de las tierras de cultivo, sin cambiar la categoría (disminución de la cubierta boscosa hasta y más allá del doble cultivo, cambio de cultivo, cambio de la tecnología de riego, uso de agroquímicos, entre otros)

- Incorporación de árboles a las tierras de cultivo (puede ser considerado una intensificación del uso de la tierra y cambio de categoría cuando los árboles pasan a ser el recurso dominante)
- Conversión de tierras de cultivo en bosque (considerado abandono, o intensificación si es descanso de la tierra para un posterior uso)
- Conversión de bosques en pastizales (a menudo tierras de cultivo como paso intermedio)
- Conversión de tierras de cultivo a pastos, implica un cambio de la categoría de uso de tierra y aumento de la extensión de tierra aprovechable.
- El uso más intensivo de pastizales (generalmente a través de mayores insumos)
Incorporación de ganado en tierras de cultivo
- Conversión de pastos en tierras de cultivo

2.6. Purmas

La Purma es la denominación otorgada en gran parte de la selva peruana a la cobertura de la tierra equivalentes al barbecho (término técnico), en el *Lineamiento para el Otorgamiento de Cesiones en Uso para Sistemas Agroforestales* (CU-SAFs) se describe al barbecho como una fase de descanso de la tierra. Así mismo, en el *Lineamiento para la Declaración de Manejo para CU-SAFs*, describen a la Purma y barbecho como bosques de distintas edades, regenerados en las tierras abandonadas o en descanso para la recuperación de suelos. Dourojeanni (1981) menciona que la mayor parte de los bosques secundarios o “purmas” de la Amazonía peruana son, como en cualquier otra región del trópico húmedo, barbechos forestales, es decir, la consecuencia de la agricultura migratoria. Así mismo menciona que el abandono de esas tierras, debido a la pérdida de la fertilidad, es la principal razón de la formación del barbecho forestal y la presencia de mala hierba con una agresividad tan grande que el agricultor considera mejor abandonar su campo y abrir uno nuevo, que tratar de combatirla con los escasos recursos a su disposición. Malleux (1975) observó que la diversidad florística de los barbechos, pese a ser mucho más simple que un bosque clímax, es sumamente compleja. Sin embargo, aparece el predominio de ciertas especies arbóreas y es común referirse a los barbechos según la especie predominante, como el “cetical” o la “topal”, indicando asociaciones con predominio de cetio (*Cecropia*) o de topa (*Ochroma*).

2.7. Agroforestería

Sinclair (1999) la agroforestería es un nombre colectivo para sistemas y prácticas de uso de la tierra donde las plantas perennes leñosas (árboles, arbustos, palmeras, bambú, etc) se usan deliberadamente en la misma unidad de manejo de la tierra con cultivos agrícolas y/o animales, en algún tipo de arreglo espacial o secuencia temporal. En estos sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes. Jose *et al.* (2012) definen los sistemas agroforestales como un manejo intensivo del uso de la tierra, que optimiza los beneficios (físicos, biológicos, ecológicos, económicos y sociales) de las interacciones biofísicas creadas cuando los árboles y/o arbustos se combinan deliberadamente con cultivos agrícolas. Mosquera-Losada *et al.* (2012) mencionan como principales beneficios de los sistemas agroforestales: a) Conservación de la biodiversidad (flora, fauna y microorganismos), muy superior en comparación a los sistemas agrícolas convencionales. La biodiversidad es modificada como resultado del establecimiento de los sistemas agroforestales, creando un agro-ecosistema donde la biodiversidad dependerá de las condiciones del suelo, especies de árboles introducidos y la densidad del número de plantas. b) Regulación de los ciclos de nutrientes y agua, el establecimiento de sistemas agroforestales da como resultado un aumento de los ciclos de nutrientes en comparación con los sistemas agrícolas convencionales, porque los nutrientes lixiviados en la capa de la rizosfera pueden ser capturados por las raíces profundas de los árboles e incorporados a los ciclos respectivos. Además, estos nutrientes vuelven a ser disponibles para los cultivos una vez que las hojas de los árboles se caen en el suelo como la hojarasca, aumentando la fertilidad del suelo. c) Captura de carbono, En comparación con los sistemas sin árboles, la agroforestería permite secuestrar más carbono debido al componente del árbol que puede almacenar carbón en su madera.

2.8. Biomasa vegetal

Nájera (1999) define la biomasa como el conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien producidos en la cadena biológica, pudiéndose distinguir así dos grandes tipos: biomasa vegetal y biomasa animal. Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Leith y Whittaker 1975).

Schroeder *et al.* (1993) complementan que por lo menos el 40% del carbono de la biomasa del árbol completo se encuentra en las hojas y en las ramas que se queman o se descomponen rápidamente después de la corta del árbol. Del 60% restante, solo la mitad queda capturada en

el producto final; esto significa que aproximadamente el 75% del carbono almacenado en el árbol regresa a la atmósfera.

Schlegel *et al.* (2000) afirman que la biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Así también, Oliva y García-Oliva (1999), citados por Zamora (2003), describen que la incorporación de carbono al suelo en los ecosistemas naturales se da por dos vías principales: por el mantillo (capa superficial de materia vegetal) y por la biomasa radicular. Barragán (2008) manifiesta que es la producción de materia orgánica de un ecosistema por unidad de tiempo y de superficie es su productividad, la cual es expresada en gramos de peso seco por m² y año (g/m²/año).

Según Couto *et al.* (2004), citados por Soares *et al.* (2006), la biomasa forestal tiene características tales que permiten su uso como fuente de energía alternativa, ya sea por la quema de la madera, el carbón, la recuperación de los residuos de la exploración y explotación de los aceites esenciales, alquitrán y ácido piroleñoso. Soares *et al.* (2002) señalan que la biomasa forestal puede ser utilizada como una fuente de energía limpia, renovable y generadora de empleo.

2.9. Estimación de biomasa y ecuaciones alométricas

Para la estimación de la biomasa Chavez *et al.* (2005) elaboraron modelos de regresión para convertir los datos de inventarios forestales en una estimación de biomasa aérea (AGB). A partir de 2 410 árboles cosechados directamente de 27 sitios de estudio en los trópicos, se construyeron relaciones proporcionales entre la biomasa aérea y el producto de la densidad de la madera, el área transversal del tronco y la altura total. Entre las ecuaciones para la estimación de biomasa se obtuvieron: $(BT) = \rho x \exp\{[-1.499 + 2.148(\ln(DAP)) + 0.207(\ln(DAP))]^2 - 0.0281(\ln(DAP))^3$, ecuación que permite la estimación de la biomasa aérea a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) y $BT = \exp(-2,557 + 0,940 * LN((p * DAP^2)H))$, que requiere del DAP, la altura total y la densidad de la especie. Concluyeron que sus modelos de regresión dieron resultados confiables para predecir la biomasa de árboles en la superficie de una amplia gama de bosques tropicales. Schlegel (2001) realizó la cuantificación de la biomasa aérea y el carbono fijado en bosques del tipo forestal siempreverde. A partir de ensayos destructivos, se realizaron mediciones directas de la biomasa de 269 individuos en 6 diferentes sitios de muestreo. Con la información obtenida desarrolló el modelo alométrico

con forma linealizada mediante logaritmo natural: $LN(BT) = -2,647 + 2,104 * LN(DAP) + 0,502 * LN(HT)$, la cual requiere del DAP y la altura total del árbol para la estimación de su biomasa aérea.

2.10. El ciclo del carbono

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causados por la acción humana. La captura de carbono ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa vegetal, y consecuentemente constituyen, un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y la descomposición orgánica (Rügnitz *et al.* 2009). Los árboles actúan como sumideros de carbono y liberan oxígeno (O₂), al capturando el carbono en la biomasa, principalmente en la madera. Los bosques pueden ser sumideros, pero también pueden ser considerados como fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y cómo sean utilizados sus productos (Chaturveni, 1994)

2.11. Captura y stock de carbono en la biomasa

La convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) define la captura de carbono como el proceso de eliminación de carbono de la atmósfera y su depósito en un reservorio (UNFCCC 2007). Para Nair *et al.* (2010), el secuestro de Carbono involucra principalmente la absorción de CO₂ atmosférico durante la fotosíntesis y la transferencia de Carbono fijo a la vegetación, detritus y depósitos en el suelo, para el almacenamiento “seguro” (a largo plazo).

Schimel (1995) y Ordóñez (1998) mencionan que el dióxido de carbono (CO₂) es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución de las zonas tropicales. A finales de 2017 las emisiones antropogénicas totales de CO₂ se han estimado en 42 +/- 3 GtCO₂ por año y la deforestación de los bosques tropicales contribuyen en 0.425 GtCO₂ (IPCC 2018). Nair (2011) menciona que la mayoría de los estudios considera el stock de carbono como el 50 % de la biomasa total, la cual es estimada a partir de ecuaciones alométricas arbitrariamente

elegidas o generales. Para Quinkenstein (2011) la tasa total de secuestro de carbono de una cobertura vegetal, depende principalmente de su productividad de biomasa. Los principales almacenes de C en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. Brown *et al.* (1993) menciona que el suelo juega un papel muy importante en el almacenamiento de carbono en estos ecosistemas. El suelo tiene una gran capacidad de "almacenar" C, ya que puede acumularlo por miles de años (Schlesinger 1990)

2.12. La captura de carbono en los sistemas de uso de la tierra

El uso de la tierra y los cambios en el uso de la tierra afectan el intercambio de gases de efecto invernadero entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera. La tala del bosque, la quema y la conversión a la agricultura y el pastoreo causan grandes flujos de carbono hacia la atmósfera (Nabuurs et al. 2007). Para Brakas y Aune (2011) las reservas altas de carbono sobre el suelo se encuentran en los sistemas de uso de la tierra con alta diversidad arbórea (bosque preservado, huerto doméstico, bosque natural). También afirma que sistemas agroforestales como maíz + árboles (maderables o frutales) contienen un alto contenido de carbono. Por el contrario, los usos de la tierra con pocas especies de árboles o sin árboles en su composición tenían un bajo contenido de carbono (por ejemplo, maíz y maíz + plátano). Por lo tanto, las cantidades significativas de carbono serán capturadas cuando el sistema de uso de la tierra se aleja de los pastizales y se acerca a los sistemas de bosques con árboles o plantaciones en barbechos agrícolas. Para Quinkenstein *et al.* (2011) los sistemas alternativos de manejo forestal como las plantaciones de leña y las parcelas de bosques secundarios también pueden tener alto potencial de secuestro de carbono.

2.13. La captura de carbono en los sistemas agroforestales

Peichl *et al.* (2006) consideran que la captura de carbono aumenta de forma considerable con la integración de árboles a los sistemas agrícolas convencionales. Añaden que estos sistemas aumentan la captura de carbono mediante dos mecanismos: (1) aumenta el carbono almacenado en la biomasa de los árboles plantados y (2) una menor descomposición de la materia orgánica rica en lignina y consecuente estabilización del carbono orgánico del suelo (COS). Jose *et al.* (2012) mencionan que el potencial de la captura de carbono en los sistemas

agroforestales es variable dependiendo del tipo de sistema, composición de especies, años de establecimiento de las especies, localización geográfica, factores ambientales y las prácticas de manejo. El secuestro de carbono implica la remoción y almacenamiento de carbón de la atmósfera en sumideros de carbón (como océanos, vegetación o suelos) a través de procesos físicos o biológicos. La incorporación de árboles o arbustos en el sistema agroforestal puede aumentar la cantidad de carbono secuestrado en comparación con un campo de monocultivo de plantas o pastura (Kyrby y Potvin 2007). Además, Kimaro *et al.* (2011) consideran que la utilización de especies arbóreas de crecimiento rápido puede reducir considerablemente a la degradación forestal y favorecer a un rápido secuestro de CO₂ atmosférico. Thevathasan y Gordon (2004) en base a los resultados de su estudio concluyeron que aparte del aumento de COS en las áreas de cultivo puede reducir la erosión del suelo y contribuye a mantener la fertilidad y estabilización del suelo

2.14. Los sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversidad

En general los sistemas agroforestales juegan 5 roles importantes en la conservación de la biodiversidad: (1) hábitat para especies tolerantes a ciertos niveles de perturbación del ecosistema; (2) contribuye a preservar el germoplasma de especies sensibles; (3) contribuye a reducir las tasas de conversión de bosque a sistemas agrícolas convencionales; (4) Provee de conectividad para la creación de corredores entre hábitats remanentes, apoyando a la conservación de áreas sensibles de flora y fauna; (5) ayuda a la conservación de la diversidad biológica, proporcionando otros servicios ecosistémicos, como el control de la erosión y recarga acuífera; previene la degradación de los suelos y la pérdida del hábitat q lo rodea (McNeely 2006 y Harvey *et al.* 2011 citados por Jose *et al.* 2012). Brandle *et al.* (2004) reportaron un aumento considerable en la densidad y diversidad de insectos con la incorporación de árboles como cortavientos. Berges *et al.* (2010) observaron un incremento considerable para la diversidad de aves en plantaciones como buffer ribereño, en comparación con los campos de cultivo y pastizales.

2.15. Composición florística

Krebs (1999) entiende la composición florística como la enumeración de las especies de plantas presentes en un lugar, usualmente teniendo en cuenta su densidad, su distribución y su biomasa. En Ecuador, Perú y Brasil se han realizado muchos estudios florísticos, por lo que se tiene una idea de la composición florística y la diversidad de la Amazonía de esos países. La

selva húmeda amazónica no puede entenderse como un enorme ensamblaje homogéneo de especies de plantas. Por el contrario, la Amazonía está compuesta por diferentes tipos de bosque, que pueden distinguirse de una forma directa por las especies que los componen o de forma indirecta por su topografía, clima o hidrología (De Oliveira y Nelson 2001; Terborgh y Andresen 1998). Las especies que conforman una comunidad vegetal responden de manera diferente a factores ambientales y otras variables climáticas; como la altitud, la cual se considera como un factor muy importante en la estructura, riqueza y composición de las comunidades vegetales (Matteuci y Colma 1982).

2.16. Diversidad florística

Reynel *et al.* (2013) conceptualiza la diversidad como la riqueza de la vida y de sus variantes sobre la tierra; la cual incluye las plantas, los animales y los microorganismos existentes. Asimismo, Louman *et al.* (2001) la entienden como el número de especies en relación con el tamaño de la población de cada especie. La Organización de las Naciones Unidas lo define como “la variabilidad de los organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos... comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas” (Vargas 2008). Para Krebs (1999) la diversidad tiene dos componentes principales: la riqueza de especies y la equitatividad. El primero está referido al número de especies en una comunidad y el segundo a las proporciones relativas de cada especie, teniendo en cuenta que puede haber especies dominantes y especies raras en una comunidad. La curva de Coleman es el método más empleado para evaluar la diversidad de especies, donde las unidades de muestreo son situados al azar y todos los individuos capturados se consideran conjuntamente como una muestra. Asimismo, la valoración de la calidad de los inventarios mediante el uso de curvas colectoras o de acumulación de especies, es la aproximación más correcta en la evaluación de la diversidad florística (Gray 2002).

2.17. Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA)

La Evaluación Rápida de Stock de Carbono (RaCSA) fue desarrollada por Meine Van Noordwijk y Kurniatun Hairiah investigadores de World Agroforestry Centre en el 2007. El inventario RaCSA evalúa el estado de las reservas de carbono en un área geográfica determinada y desarrolla escenarios de captura o restauración de carbono resultantes de posibles cambios en el uso y manejo de la tierra. RaCSA integra procedimientos para

desarrollar escenarios de uso de la tierra que pueden mejorar el secuestro de carbono, prevenir la degradación de la tierra, promover la productividad sostenible de la tierra y aumentar los medios de subsistencia de las personas. RaCSA está diseñado para proporcionar un nivel básico de conocimiento local relevante para informar las discusiones sobre la reducción de emisiones. Introduce un marco metodológico científicamente sólido para la contabilidad de los sumideros de carbono, al tiempo que se centra en actividades que pueden mejorar los medios de vida locales y aliviar la pobreza rural (Van Noordwijk y Hairiah 2007).

RaCSA se aplicó por primera vez en el distrito de Nunukan, provincia de Kalimantan Oriental, Indonesia, para monitorear las reservas de carbono en un área donde la conversión de los bosques, la tala ilegal y los incendios estaban causando emisiones sustanciales de carbono. El manejo forestal basado en la comunidad, como la agrosilvicultura y la agricultura sostenible de bajos insumos externos, se consideraron opciones que podrían proporcionar medios de vida sostenibles para los agricultores locales al tiempo que aumentan o mantienen el secuestro de carbono (Van Noordwijk y Hairiah 2007).

2.18. Marco teórico avances en la investigación

Bernard *et al.* (2013) identificaron que, en la Amazonia peruana, dentro de la provincia de Padre Abad, la mayor extensión de tierras está ocupada por concesiones permanentes de producción, áreas protegidas y las comunidades indígenas. Sin embargo, en las tierras no clasificadas se produce a mayor degradación y cambio de uso. Donde los pastos, cultivos anuales y semestrales, cultivos permanentes de árboles, barbechos, bosques secundarios y otras categorías de bosque constituyen el mosaico del paisaje. El aumento de la urbanización y la densidad de la población, convierten a los agricultores en los principales actores de la deforestación y el cambio de uso de la tierra Hiernaux *et al.* (2009); Smith *et al.* (1997); Walker y Homma (1996) y Young (1997) reconocen que la dinámica del cambio de uso de la tierra se define y puede ser variable según la tenencia de la tierra, mano de obra y capital del agricultor. El cambio de uso de la tierra inicia con el objetivo de los inmigrantes a plantar cultivos de subsistencia y acumular capital, para ello, realizan la conversión de bosques a tierras de cultivos anuales o pasturas, para luego vender las tierras y moverse a nuevas fronteras. En esta etapa inicial es poco probable la conversión de tierras para cultivos a largo plazo. Además del uso de una pequeña porción del área deforestada por la incapacidad de manejar extensas áreas con escasa mano de obra. En una segunda etapa los agricultores si inclinan por cultivos permanentes que puedan proveer, por ejemplo, frutos y madera de calidad. Smith *et al.* (1997)

realizó su estudio en Pucallpa, Perú, por el método de valoración contingente obteniendo que el 36% de los agricultores valoran los bosques como una fuente de material de construcción; el 27% por la provisión de productos no maderables; y de 24% a 45% lo valoran por el estilo de vida y los servicios ecosistémicos que le brindan.

Mutuo *et al.* (2005); Paustian *et al.* (1997); Feller (1993) y Detwiler (1986), concuerdan a partir de los resultados de sus estudios que los sistemas de tala y quema, los sistemas más intensivos de cultivo continuo y barbecho a corto plazo tienen un bajo potencial de secuestro de carbono, debido al corto periodo de rotación a diferencia de la labranza de conservación, el cultivo de mantillo y los sistemas agrosilvoculturales que mejoran visiblemente el almacenamiento de carbono en suelos agrícolas. Por ejemplo, el uso de barbechos de mayor edad mejora la productividad de los cultivos agrícolas con un menor requerimiento de enmiendas orgánicas. La capacidad de los sistemas de uso de la tierra para proporcionar materia orgánica, reciclar nutrientes y brindar ingresos para el agricultor, son factores que deben tomarse en consideración para considerar un sistema de uso de la tierra “estable” en el tiempo (Angima *et al.* 2003; Roose y Ndayizigiye 1997; Young 1997).

Coomes *et al.* (2000) En San José, Iquitos, mediante entrevistas obtuvieron datos de composición demográfica de los hogares, tenencia de tierras, uso de la tierra entre otros: “en general la dinámica del cambio de uso de la tierra se ve afectada principalmente por el acceso a la mano de obra, lo cual ocasiona el aumento de sus áreas de barbechos y el aumento de la extensión de sus fronteras hacia el bosque”. A partir de su estudio se encontraron que el barbecho del bosque secundario constituye un componente importante del paisaje forestal alrededor de las comunidades, como fuente de madera y recuperación de la fertilidad de los suelos, como lo afirmaron Gallagher *et al.* (1999) “Los barbechos a corto plazo mejoran la productividad del suelo y el cultivo, lo que a su vez puede mejorar su capacidad para el almacenamiento de carbono”.

Roncal-García *et al.* (2008) y Cayuela *et al.* (2006) encontraron diferencias significativas entre el carbono acumulado de los sistemas agroforestales, los barbechos manejados o enriquecidos y los barbechos tradicionales. En sus resultados, los sistemas agroforestales aumentaron su contenido de carbono conforme aumentaba la edad de establecimiento. Además, ambos estudios encontraron que los barbechos tradicionales tuvieron una alta complejidad en los resultados de carbono total acumulado.

Callo-Concha *et al.* (2001) obtuvieron que la captura de carbono de la biomasa aérea de los bosques primarios es el triple que la captura de carbono en los barbechos y hasta 5 veces un sistema de café bajo sombra; Sobre los árboles caídos el bosque primario es 5 veces superior al sistema de café bajo sombra y hasta 11 veces un barbecho; El carbono contenido en arbustos y herbáceas no encontraron diferencias significativas, sólo destacó la pastura sobre los demás usos; El carbono de la hojarasca del bosque primario corresponde a 1.2 veces el estimado en los barbechos y el doble de los sistemas de café bajo sombra. En tanto el carbono total en el bosque primario, sistema de café bajo sombra y barbecho obtuvieron 465.84; 193.69 y 180.99 tC/ha respectivamente. Sin embargo, Lapeyre *et al.* (2004), para los bosques tropicales de San Martín obtuvieron 485.3 tC/ha para bosque primario sin intervención; 234.3 tC/ha para bosques secundarios mayores a 50 años; 62.1 tC/h en bosques secundarios mayores a 20 años; 1.7 tC/ha en áreas con cultivos de arroz; 4.4 tC/ha en áreas con agricultura de maíz; 2.3 tC/ha para pastos; 19.3 tC/ha para sistemas de café-guaba; y finalmente obtuvo 47.2 tC/ha en plantaciones de cacao. Barbarán (1999) y Palm *et al.* (1998) realizaron estudios en los bosques tropicales de Campo Verde, en la región de Ucayali, donde encontraron que la captura de carbono de los sistemas agroforestales se encuentran en el rango de 25 a 30 tC/ha; Pasturas y cultivos tradicionales entre 3 a 5 tC/ha; bosques secundarios de 3 y 15 años con 57 y 159.8 tC/ha respectivamente; Además, ambos estudios concuerdan en que el barbecho puede recuperar eventualmente entre el 50 a 80% de la proporción de carbono de un bosque primario y el enorme potencial debido a la superficie que ocupa en la Amazonía peruana. Entre el 30 al 50% del carbono retenido por un sistema de uso de la tierra en trópicos se registra en el suelo, a profundidades superiores a un metro los suelos forestales contienen más carbono que la biomasa aérea, (Schroeder 1994; Barbarán 1998; Palm *et al.* 1999; Dixon *et al.* 1994). Días y Durán (2011) en su estudio de sistemas pastoriles en Uruguay, encontraron que los sistemas que utilizan un uso intensivo del suelo desfavorecen la recuperación y almacenamiento de COS debido a las restricciones de la capacidad de almacenaje de agua o restricciones químicas, que parecen tener influencia sobre el almacenaje de carbono. Keenan (2015); Guo y Gifford (2002) y Detwiler (1986) encontraron dos veces más alta la pérdida de COS después de una deforestación que lo reportado por Díaz-Rossello y Durán (2011) quienes registraron pérdidas entre 30 al 50%. El IPCC establece valores predeterminados de 31% y 42% de pérdida de COS para las regiones tropicales húmedas en el cambio de uso a pastos o cultivos agrícolas. Entre el 30 al 50% del carbono retenido por un sistema de uso de la tierra en trópicos, se registra en el suelo, a profundidades superiores a un metro, los suelos forestales contienen más carbono que la biomasa aérea, (Schroeder 1994; Barbarán 1998; Palm *et al.* 1999; Dixon *et al.* 1994)

Bhagwat *et al.* (2008) encontraron que los sistemas agroforestales pueden tener una riqueza de especies equivalente a más del 60% de la del bosque natural. Además, que la transformación de bosque secundario o barbecho maduro hasta agroforestería tuvo poco efecto sobre la riqueza general de especies. Blanco y Leyva (2010) y Villareal *et al.* (2003) ponen en evidencia la necesidad de tener en cuenta los precedentes culturales en el estudio de la diversidad florística de los barbechos procedentes de cultivos agrícolas. Las prácticas intensivas y uso de herbicidas pueden favorecer la dominancia de especies arbóreas altamente agresivas, dada su elevada plasticidad ecológica, desfavorable para el crecimiento de otras especies pioneras en los barbechos. Además, añaden que la variabilidad en la composición florística está en función a la edad de los barbechos y tipos de suelos encontrados. A mayor edad tenga el barbecho la diversidad será mayor y se tendrá menor cantidad de especies pioneras. Cayuela *et al.* (2006) concuerdan en que todos los barbechos comparten similar riqueza de especies en las mismas edades; sin embargo, el manejo en los barbechos enriquecidos disminuye su diversidad de especies debido a la promoción de determinadas especies comerciales sobre otras. Además, se encontró que la complejidad de los sistemas contribuye al incremento del carbono total por hectárea. El carbono encontrado en los sistemas intervenidos es mayor que el encontrado en los sistemas tradicionales de similares edades.

III. METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio

3.1.1. Localización geográfica

El estudio se llevó a cabo en los predios pertenecientes a los productores de cacao del distrito de Irazola, de la provincia de Padre Abad, de la región de Ucayali (Figura 3). El distrito abarca una superficie aproximada a 2687 km² y hasta el año 2013 contaba con un total de 91 centros poblados en su territorio. La población de la región Ucayali se caracteriza por una alta migración proveniente de las regiones cercanas y en su mayoría de la sierra central. Los datos del INEI registran una población de 460 557 habitantes, correspondientes al 1,69% de la población nacional (INEI 2013).



Figura 3: Mapa de Perú, indicando la ubicación del departamento de Ucayali y el distrito de Irazola

3.1.2. Clima y fisiografía

Toda la provincia de Padre Abad se encuentra dentro del área tropical húmeda del Perú, con bosques tropicales siempre verde y bosques húmedos premontanos tropicales en transición a bosques tropicales. El clima del bosque tropical es cálido, de abundante lluvia y atmósfera muy húmeda; el clima del bosque premontano tropical es menos cálido, por encontrarse a mayor altitud, más nuboso y extremadamente lluvioso, debido a la formación de densas nubes (Robiglio *et al.* 2012). El distrito de Irazola de acuerdo al sistema HOLDRIGE, se ubica en las zonas de vida de bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T) a una altitud entre los 200 a 340 m.s.n.m. con una fisiografía plana a colinosa (MINCETUR)

3.2. Materiales, equipos y herramientas

3.2.1. Materiales

- Etiquetas plásticas
- Bolsas plásticas
- Plumones indelebles
- Costales
- Bolsas para muestras dendrológicas
- Tablas porta papel
- Útiles de escritorio
- Spray
- Estacas de madera
- Malla Rachel
- Botiquín de primeros auxilios

3.2.2. Equipos

- 03 hipsómetros SUUNTO PM-5/1520
- 03 clinómetros SUUNTO PM-5/360PC
- 03 GPS GARMIN Etrex 30x + baterías adicionales
- 03 brújulas SUUNTO KB-14
- 03 calculadoras CASIO fx-95MS
- 03 Winchas (50 m)
- 03 marcos para muestreo de sotobosque y hojarasca

- 06 cilindros para densidad
- 03 Tamiz (2 mm)
- 03 balanzas digitales
- 06 Cintas métricas (1,5 m)
- 06 sogas de 5m
- 06 Carpas
- Equipos de protección personal

3.2.3. Herramientas

- 03 machete
- 03 tijeras de podar
- 03 barrenos para muestreo de suelo
- 03 Combas de goma
- 03 navajas

3.3. Metodología

3.3.1. Estudio base

El estudio de línea base fue conducido por ICRAF en 2014/2015. El estudio realizado se basó en una muestra de 201 productores para el distrito de Irazola, de los cuales se generó una tipología de productores que permitió seleccionar 72 productores representativos. De los cuales para el presente estudio se tomaron un total de 41 productores de cacao “prioritarios”, teniendo como criterio de selección, aquellos que cuenten con parcelas de Purmas y/o bosques en sus predios.

3.3.2. Fase de campo primera etapa

a. Identificación del ámbito de estudio

Se identificó la extensión y los centros poblados que abarcan los 41 productores seleccionados como productores “prioritarios” en la línea base del estudio.

b. Identificación de los actores

Se registró la información de los 41 productores de cacao, así como la información de sus parcelas. Esta información fue colectada en campo mediante encuestas a cada uno de los productores seleccionados. La información recolectada se muestra en la Tabla 1. La información obtenida por las encuestas se complementó con la toma de coordenadas, utilizando un receptor GPS y un croquis diseñado por el productor, identificando la ubicación de su parcela. Los formatos de las encuestas se detallan en el anexo 1.

Tabla 1: Información general del productor y su parcela.

| INFORMACIÓN GENERAL | |
|---------------------|--|
| 1 | INFORMACION DEL PRODUCTOR |
| 1.1 | Nombres y apellidos del encuestador |
| 1.2 | Fecha (día/mes/año) de la entrevista |
| 1.3 | Nombres y apellidos del entrevistado |
| 1.4 | Género del entrevistado |
| 1.5 | Edad del entrevistado (años) |
| 1.6 | Experiencia del entrevistado en el cultivo del cacao |
| 1.7 | Cargo del entrevistado (dueño, obrero, familiar) |
| 1.8 | Código del cacaotal |
| 1.9 | Este cacaotal se encuentra bajo certificación orgánica (S/N) |
| 2 | INFORMACIÓN DE LA PARCELA |
| 2.1 | Relación con el dueño |
| 2.2 | Estado de titulación |
| 2.3 | Superficie declarada de la parcela |
| 2.4 | Posición geográfica |
| 2.5 | Tipo de erosión |
| 2.6 | Edad de la Parcela (años) |
| 2.7 | Dinámica de cambios después de la tumba del bosque o desde la compra |

3.3.3. Fase de campo segunda etapa

El procedimiento empleado para la obtención de la información en el campo se basó en la metodología de muestreo *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA) desarrollada por ICRAF, modificada y adaptada a las condiciones del presente estudio. La Figura 4 muestra el esquema de los procedimientos de la segunda etapa de campo para la obtención de información.

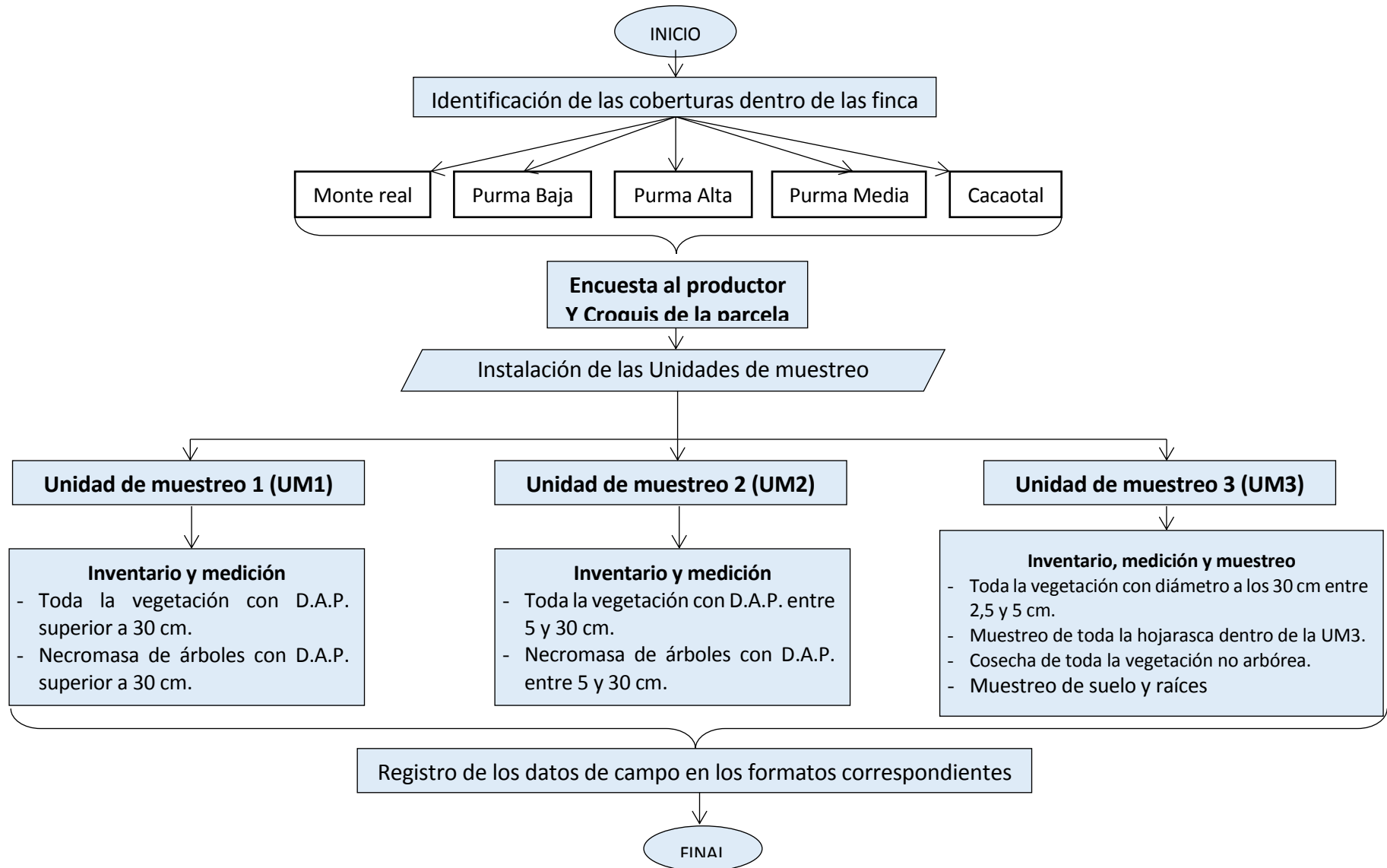


Figura 4: Esquema del procedimiento de la fase de campo.

a. Identificación de las coberturas de la tierra

Previo a la instalación de las unidades de muestreo se identificó las coberturas y uso de la tierra dentro de la finca del productor, utilizando la nomenclatura o clasificación local para cada cobertura y uso de la tierra. Para su identificación, Deheuvels y Robiglio (2015) mencionan algunos criterios y características que pueden ser obtenidos en campo; además, recomiendan confiar en los actores locales para obtener las edades y el registro histórico de cada una de las coberturas dentro de su finca.

a.1. Monte Real (MR)

Referido a un bosque manejado, aprovechado o una purma particularmente vieja, la cual ha alcanzado un dosel cubierto a más del 40% con un estrato dominante abierto y vegetación baja conformada por arboles jóvenes y arbustos.

a.2. Purma Baja (PB)

Tierras en descanso por un tiempo aproximado de 3 años con vegetación herbácea, árboles pioneros muy jóvenes y otros arbustos dispersos. Dosel cubierto en menos del 40% y presencia de posibles residuos de la última cosecha agrícola y área de pastos y cultivos de coca.

a.3. Purma Media (PM)

Tierras en descanso por un tiempo aproximado de 4 a 8 años, vegetación arbustiva y árboles pioneros de hasta 3 metros de altura. El dosel cubre más del 40% de la luz. Presencia de vegetación herbácea senescente, surgimiento de especies de bosque secundario.

a.4. Purma Alta (PA)

Tierras en descanso por un tiempo aproximado mayor a 8 años y menor a 15, dosel cerrado con vegetación leñosa de 3 a 7 m de altura y dominancia de especies de bosque secundario con un estrato arbustivo senescente.

a.5. Cacaotal (CA)

Parcela cultivada con cacao, la cual puede estar asociada a otras plantas introducidas por el productor o remanentes de la purma o monte real.

b. Unidad de muestreo (UM)

Las unidades de muestreo fueron ubicadas en cada una de las coberturas encontradas en las fincas de los productores de cacao, procurando instalarlas al centro de las parcelas, lo más alejado de los bordes y estuvieron conformadas por 3 tipos de unidades de muestreo como se muestra en la Figura 5:

b.1. Unidad de muestreo 1 (UM1)

Consiste en una parcela rectangular de 100 m de largo y 20 m de ancho. Dentro de la UM1 se realizó el inventario y medición del diámetro a la altura del pecho (D.A.P.), altura comercial y altura total de todas las plantas vivas y muertas (caídas y en pie) que cuenten con un D.A.P. mayor a 30 cm.

b.2. Sub-unidad de muestreo 2 (UM2)

Consiste en una parcela rectangular de 40 m de largo y 5 m de ancho ubicada dentro de la UM1 en uno de sus vértices. Dentro de la UM2 se realizó el inventario de todas las plantas vivas y muertas (caídas y en pie) que cuenten con un D.A.P. entre 5 y 30 cm.

b.3. Sub-unidad de muestreo 3 (UM3)

Consiste en una parcela cuadrada de 1 m x 1 m, se instaló 3 repeticiones equidistantes ubicadas dentro y sobre la línea central más larga de la UM2. La UM3 se instaló para el muestreo de suelo, hojarasca y plantas vivas de diámetros entre 2,5 y 5 cm.

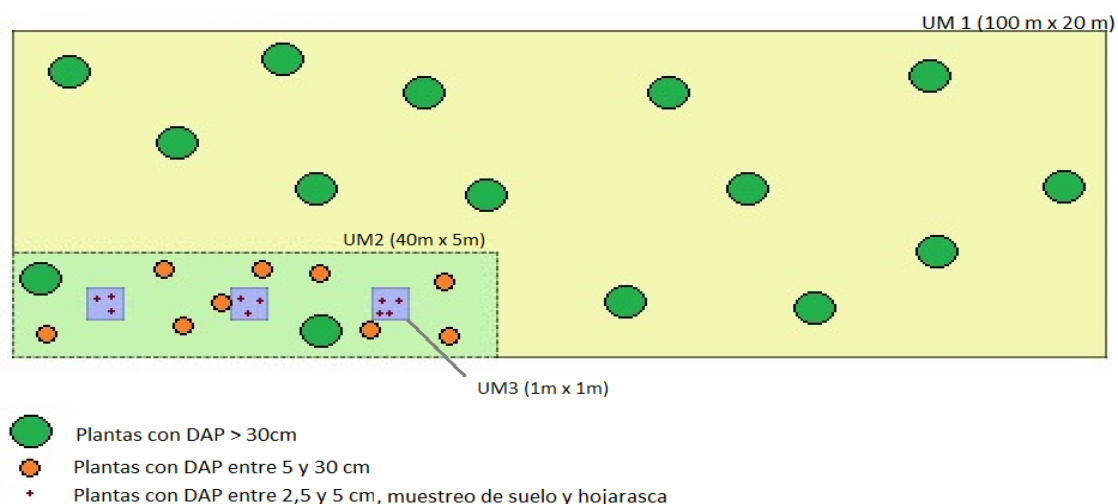


Figura 5: Esquema de las unidades de muestreo.

c. Mediciones en la UM1

c.1. Inventario y medición de la vegetación

Se realizó el inventario completo de todas las plantas vivas con un D.A.P. superior a 30 cm. Cada planta fue identificada con su nombre común y se midió:

- *altura total*, corresponde a la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol, asumiendo que este es recto y vertical.
- *altura del fuste* el cual corresponde a la distancia vertical entre el nivel del suelo al punto de la primera rama que forma copa.
- *C.A.P*, obtenido a partir de la circunferencia medida a 130cm de la base del árbol. Medida tomada con el uso de una cinta métrica, con una precisión de +/- 1cm y cuya transformación aritmética nos permitió obtener el D.A.P.

c.2. Inventario y medición para necromasa

Se inventarió y midió todas las plantas muertas en pie, de los troncos caídos y tocones de diámetro mayor a 30 cm. Se midió la longitud del tocón, su circunferencia, y su estado de degradación (sólido, intermedio y podrido). Para reconocer el estado de degradación se golpeó el tronco; si rebotaba, se clasificaba como “sólido”; si el machete penetraba ligeramente, se consideraba como “intermedio”; y si la madera se desintegraba, se consideraba como “podrido”.

d. Mediciones en la UM2

d.1. Inventario y medición de la vegetación

Se inventarió todas las plantas vivas con un D.A.P. entre 5 y 30cm. Se identificó cada una de las plantas por su nombre común y se midió:

- *altura total*, corresponde a la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol, asumiendo que este es recto y vertical;
- *altura del fuste* el cual corresponde a la distancia vertical entre el nivel del suelo al punto de la primera rama que forma copa.

- *C.A.P.*, obtenido a partir de la circunferencia medida a 130cm de la base del árbol. Medida tomada con el uso de una cinta métrica, con una precisión de +/- 1cm. y cuya transformación aritmética nos permitió obtener el *D.A.P.*

d.2. Inventario y medición de la necromasa

Se inventarió y midió todas las plantas muertas en pie, de los troncos caídos y tocones de diámetro entre 5 y 30 cm. Se midió la longitud del tocón, su circunferencia, y su estado de degradación (sólido, intermedio, podrido). Para reconocer el estado de degradación se golpeó el tronco; si rebotaba, se clasificaba como “sólido”; si el machete penetraba ligeramente, se consideraba como “intermedio”; y si la madera se desintegraba, se consideraba como “podrido”.

e. Mediciones en la UM3

e.1. Inventario de la vegetación

Se inventarió todas las plantas vivas con un *D.A.P.* entre 2,5 y 5 cm. Cada planta fue identificada con su nombre común y se midió:

- Su altura, por estimación visual usando una referencia graduada de 3 metros de alto.
- Su circunferencia a 30 cm del suelo, medida en cm con el uso de una cinta métrica de precisión +/- 1cm.

e.2. Cosecha de la vegetación no arbórea

Se cosechó a ras del suelo toda la vegetación no arbórea viva (hiervas, arbustos, gramíneas, helechos, musgos, rastreras, ...). Se picó y pesó en campo el total de la vegetación no arbórea en cada sub-UM3. Luego se mezcló las 3 sub-muestras de donde se extrajo una muestra compuesta de 200 g. Se etiquetó las muestras debidamente identificada con el número de parcela y el UM para su posterior envío al laboratorio, de la siguiente manera: *00211A_UM3_No arbóreas*.

e.3. Muestreo de hojarasca

Se colectó toda la hojarasca en cada una de las sub-UM3, sin recoger ni suelo, ni vegetación herbácea cortada. Se pesó el total de hojarasca en cada sub-UM3. Luego se extrajo una muestra compuesta de 200g de las 3 sub-muestras. Se etiquetó las muestras debidamente identificada

con el número de parcela y el UM para su posterior envío al laboratorio, de la siguiente manera: *00211A_UM3_HO*.

e.4. Muestreo de suelo y raíces

Para el análisis de la fertilidad del suelo, se generó 2 muestras por cada una de las sub-UM3: una a 0-20 cm de profundidad y una a 20-50 cm de profundidad. Por cada uno de los horizontes muestreado (0-20 y 20-50) a partir de las 3 sub-muestras obtenidas de cada una de las 3 UM3 dentro de la parcela y mezcladas en un plástico extendido, se extrajo una muestra compuesta de 900g. De tal modo de cada UM3 se obtuvo 2 muestras compuestas de 900g cada una correspondiente a uno de los dos diferentes horizontes muestreados. Cada muestra compuesta llevó inscrito en su etiqueta el código del agricultor, el uso de la tierra estudiado e identificado de la siguiente manera: *00211A_UM3_suelo H20* ó *00211A_UM3_suelo H50*.

Para el análisis de la Densidad aparente (D.A.), se generó 2 muestras por sub-UM3 una a 0-20 cm de profundidad y una a 20-50 cm de profundidad, con dos cilindros de 5 a 6 cm de diámetro y 20 cm o 30 cm de largo. Se extrajo una muestra compuesta homogénea de 200g y se empacó en una bolsa de plástico para su posterior envío al laboratorio. De cada UM3 se obtuvo 2 muestras compuestas de 200g cada una correspondiente a un horizonte muestreado. Cada muestra compuesta llevó inscrito en su etiqueta el código del agricultor, el uso de la tierra estudiado e identificado con *00211A_UM3_DA_H20* ó *00211A_UM3_DA_H50*

Para el análisis de raíces, rizomas y tubérculos. Se generó una muestra en cada sub UM3, a 0-20 cm de profundidad, con el cilindro de 20 cm de largo. Se mezcló las 3 muestras en una bolsa de plástico. Se lavó y tamizó la muestra compuesta con un tamiz de malla de 1 mm con la finalidad de obtener solo raíces, las cuales luego fueron pesadas en fresco. La muestra compuesta llevó inscrita en su etiqueta el código del agricultor, el uso de la tierra estudiado y la indicación de la siguiente manera: *00211A_UM3_raíces*.

A partir de este punto inicia la fase de procesamiento y análisis de los resultados, los procedimientos seguidos se diagraman a continuación en la Figura 6 y se detallan más adelante.

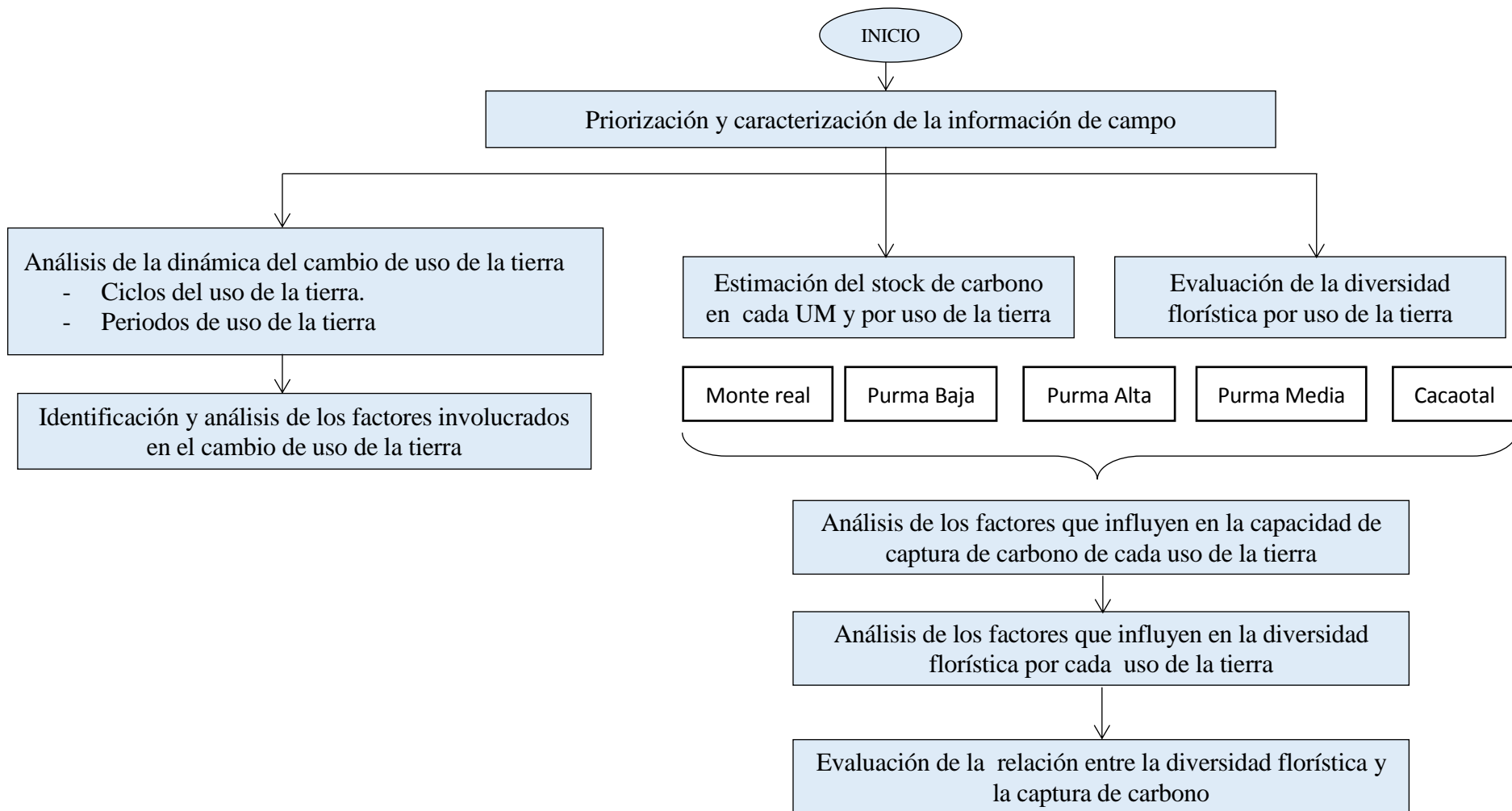


Figura 6: Diagrama de flujo del procedimiento de las fases de procesamiento y análisis de los resultados.

3.3.4. Fase de procesamiento y análisis

a. Priorización y caracterización de la información de campo

La información obtenida en campo fue dividida en tres grupos según su origen. El primer grupo conformado por la información recogida directamente del campo mediante el inventario de las distintas coberturas (RaCSA), información destinada a la cuantificación del carbono almacenado, diversidad florística y la calidad del suelo. El segundo grupo, contiene la información espacial de las parcelas instaladas en el inventario antes mencionado, esta información permitió ubicar las UM en el espacio y realizar un análisis de las posibles interacciones con los elementos geográficos. El último grupo representa la información cualitativa obtenida mediante encuestas.

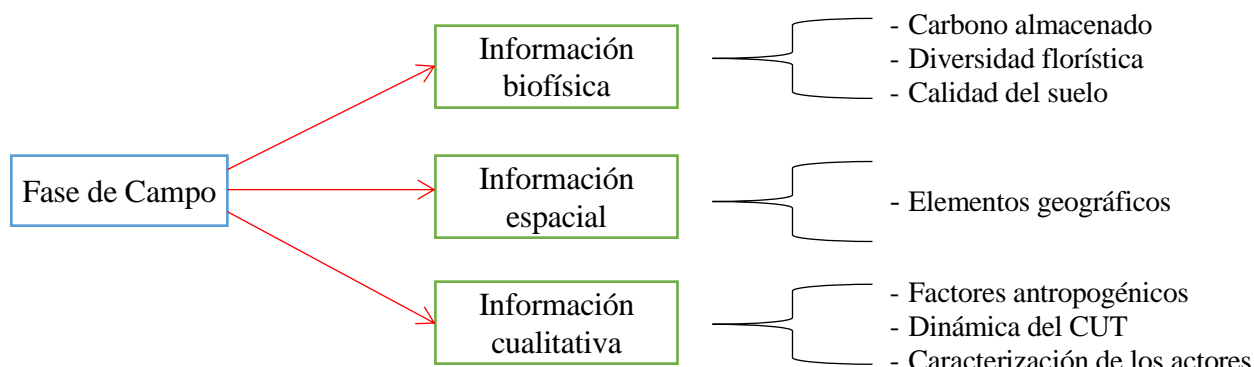


Figura 7: Conformación de la información obtenida en campo y análisis a realizar.

b. Análisis de la dinámica del cambio de uso de la tierra

Dentro de los resultados obtenidos a partir de las encuestas se identificaron las distintas dinámicas y transiciones del uso de la tierra dentro de las fincas de los productores de cacao. Se identificó los datos históricos del uso de la tierra desde el establecimiento del productor en la finca y las parcelas provenientes de un Monte Real. Este análisis permitió realizar una línea de tiempo de cada una de las fincas estudiadas, información con la cual se elaboró un diagrama que muestre las diferentes etapas, transiciones, ciclos productivos y eslabones finales en la dinámica del uso de la tierra para las fincas muestreadas.

c. Estimación del stock de carbono

El contenido total de carbono almacenado en cada uso de la tierra de las fincas estudiadas se determinó por la sumatoria del contenido de carbono de cada uno de sus componentes.

$$CT = CBA + CBNA + COS + CH + CN + CRR$$

Siendo:

CT = Carbono total (tC/ha)

CBA= Carbono en la biomasa aérea (árboles y arbustos)

CBNA = Carbono en la biomasa No arbórea (regeneración natural y pastos)

COS = Carbono orgánico del suelo

CH = Carbono en la hojarasca

CN = Carbono en la necromasa

CRR = Carbono en ramas y raíces sobre el suelo.

c.1. Carbono en la biomasa aérea (CBA)

Mediante los datos obtenidos en campo se llevó a cabo la estimación del contenido de carbono por cada uno de los árboles y arbustos inventariados en la parcela, la estimación se llevó a unidades de tC/ha. Para la estimación de la biomasa se utilizó cuatro distintas ecuaciones alométricas, según las condiciones y disponibilidad de información (Tabla 2). El carbono almacenado se definió por el 50 por ciento de la biomasa estimada.

Tabla 2: Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa.

| Ecuación | VARIABLES |
|---|---|
| $(BT) = p \times \exp\left[\left(-1.499 + 2.148(\ln(DAP)) + 0.207(\ln(DAP))^2 - 0.0281(\ln(DAP))^3\right)\right]$ | DAP |
| $LN(BT) = -2,647 + 2,104 * LN(DAP) + 0,502 * LN(HT)$ | DAP y altura total (HT) |
| $BT = \exp(-2,557 + 0,940 * LN((p * DAP^2) * H))$ | DAP, altura total (HT) y densidad de la especie |
| $BT = 0,049 * p * DAP^2 * HT$ | DAP, altura total (HT) y densidad de la especie |

c.2. Carbono en la biomasa no arbórea (CBNA)

Mediante los datos obtenidos en el laboratorio de los pesos secos de las muestras compuestas de la vegetación no arbórea de las sub-parcelas UM3 se estimó la biomasa para el área de las sub-parcelas y luego se llevó a unidades de tC/ha. El carbono almacenado se definió por el 50 por ciento del contenido de materia seca.

$$CBNA(tC/ha) = \left(\frac{\text{Peso seco muestra compuesta (g)} \times \text{Peso fresto total (g)}}{\text{Peso fresco muestra compuesta (g)} \times \text{Área total (ha)}} \right) \times \frac{1 t}{10^6 g} \times 0.5$$

Siendo:

- **Peso fresco muestra compuesta (g)**, la muestra aproximada a 200g obtenida en el muestreo de campo.
- **Peso fresco total (g)**, el peso fresco de toda la biomasa no arbórea encontrada en las 3 UM3.
- **Peso seco muestra compuesta (g)**, la obtenida a partir del análisis en el laboratorio de la muestra obtenida en campo.
- **Área total (ha)**, corresponde al área de las UM3, que en suma dan un total de 0.0003 ha.

c.3. Carbono orgánico del suelo (COS)

Se obtuvo a partir de la densidad aparente (da) calculada en el laboratorio y el porcentaje de la materia orgánica (%MO), de la siguiente manera:

$$\%COS = \frac{\%MO}{1.72}$$

$$da = \frac{\text{Peso seco de la muestra compuesta (g)}}{\text{Volumen de la muestra compuesta (cm}^3\text{)}}$$

$$COS (tC/ha) = \left(\frac{\%COS (\text{Peso seco total del suelo})(g)}{\text{Área Basal (AB)}(m^2)} \right) \times \frac{10000 (m^2)}{1 (ha)} \times \frac{1 t}{10^6 (g)}$$

Siendo:

- **%MO**, Corresponde al porcentaje de materia orgánica obtenida a partir de la muestra de suelo.
- **%COS**, el porcentaje de carbono orgánico del suelo a partir del peso fresco del suelo.
- **Peso seco de la muestra compuesta (g)**, peso aproximado a 200g de suelo obtenido a partir de la mezcla de los 3 cilindros de muestreos por cada UM3.
- **Densidad aparente (da) (g/cm³)**, se obtiene en el análisis de la muestra en el laboratorio.
- **Volumen de la muestra compuesta (cm³)**, se obtiene por cálculo matemático a partir de la densidad aparente del suelo.
- **Pesos seco total del suelo (g)**, se obtiene a partir del cálculo matemático, utilizando el volumen de los cilindros y la densidad aparente calculado en el laboratorio.
- **Área Basal (AB) (m²)**, el área formada por el diámetro del cilindro de muestreo.

c.4. Carbono en la Hojarasca (CH)

Mediante los datos obtenidos en el laboratorio de los pesos secos de las muestras compuestas de la hojarasca de las sub-parcelas UM3 se estimó la biomasa para el área de las sub-parcelas y luego se llevó a unidades de tC/ha. El carbono almacenado se definió por el 50 por ciento del contenido de materia seca.

$$CH (tC/ha) = \left(\frac{\text{Peso seco muestra compuesta (g)} \times \text{Peso fresto total (g)}}{\text{Peso fresco muestra compuesta (g)} \times \text{Área total (ha)}} \right) \times \frac{1 t}{10^6 g} \times 0.5$$

Siendo:

- **Peso fresco muestra compuesta (g)**, la muestra aproximada a 200g obtenida en el muestreo de campo.
- **Peso fresco total (g)**, el peso fresco de toda la hojarasca encontrada en las 3 UM3.
- **Peso seco muestra compuesta (g)**, la obtenida a partir del análisis en el laboratorio de la muestra obtenida en campo.
- **Área total (ha)**, corresponde al área de las UM3, que en suma dan un total de 0.0003 ha.

c.5. Carbono en la Necromasa (CN)

Para el cálculo del carbono del material muerto se utilizó el volumen de la necromasa medido en campo y la densidad de la especie corregida con los factores del grado de descomposición de la necromasa (podrido, intermedio o sólido) según Chao *et al.* (2008).

| Estado de descomposición | | Cálculo de la Densidad en Necromasa |
|--------------------------|-------------|---|
| p | Podrido: | Densidad = 0.29 |
| i | Intermedio: | Densidad = 1.17 (Densidad de la especie) - 0.31 |
| s | Sólido: | Densidad = 1.17 (Densidad de la especie) - 0.21 |

d. Cálculo de la diversidad florística

- A partir del inventario realizado, se realizó el análisis de la cantidad de especies diferentes en cada uno de los usos de la tierra dentro de cada una de las fincas estudiadas. Esto se llevó a cabo mediante un conteo aritmético simple, para cada una de las Unidades de Muestreo (UM), utilizando una tabla Excel.

- Con la información sistematizada se realizó la evaluación mediante curvas de diversidad para el análisis del crecimiento del número de especies a inventariar por unidad de superficie. Se tomó como unidad de superficie 0.2 ha, lo cual corresponde al tamaño de una UM, se fueron sumando cada una de las UM de la misma y para cada una de las categorías estudiadas, debido a que la metodología para la construcción de la curva de acumulación de especie recomienda utilizar como unidades de muestreo la extensión de las parcelas utilizadas (Gray 2002). se fueron sumando cada una de las UM hasta completar el total de superficie evaluada, el resultado nos mostró el aumento de la cantidad de especies diferentes por cada unidad de superficie adicionada. Los cálculos y diagramas se realizaron utilizando el software *Rstudio BioDiversity*. Los resultados obtenidos fueron comparados entre las distintas categorías de uso de la tierra dentro de la dinámica del cambio de uso y los resultados obtenidos por Honorio *et al.* (2008); Bhagwat *et al.* (2008); Cayuela *et al.* (2006) para distintos usos de la tierra dentro de los bosques tropicales.
- Luego se realizó el análisis comparativo de los resultados de la captura total de carbono y la diversidad florística en cada una de las unidades de muestreo (UM) evaluados.

e. Análisis de significancia de la diversidad florística sobre la captura d carbono

Se realizó utilizando el software Rstudio, mediante el análisis estadístico de las variables identificadas, empleando el análisis de Regresión por mínimos cuadrados. La significancia de las variables luego del análisis de regresión se llevó a cabo utilizando la prueba Fisher.

Prueba de significancia Fisher de la regresión

Se realizó el análisis de regresión basado en el método de los mínimos cuadrados a un nivel de significación del 0,05. Nos permitió obtener el grado de significancia de la variable predictora (diversidad florística) sobre la variable respuesta (captura de carbono).

Para conocer si la relación entre las variables era significativa o no utilizamos la prueba de Fisher, tomando como criterios de decisión el F calculado y el p-valor, los cuales fueron comparado al F tabular y al nivel de significancia de 0,05 respectivamente.

Bajo la hipótesis de que existe una relación lineal entre la variable predictora y la variable respuesta, se realizó la siguiente hipótesis,

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ (el modelo es constante, no depende de las variables predictoras)

$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (el modelo lineal es significativo, depende de las variables predictoras)

| <i>Condición</i> | <i>Decisión</i> |
|-------------------------|--|
| F calculado > F tabular | La diversidad florística tiene una influencia significativa |
| F calculado < F tabular | La diversidad florística no tiene una influencia significativa |
| P-Valor > 0,05 | La diversidad florística tiene una influencia significativa |
| P-Valor < 0,05 | La diversidad florística no tiene una influencia significativa |

f. Ubicación y análisis de las unidades de manejo (UM) en el espacio

Se realizó el análisis y mapeo de las unidades de manejo utilizando el software Arcgis 10.2, donde se incluyó diversos shapefiles con información biofísica y geográfica para un análisis espacial y a una escala más amplia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Fase de campo primera etapa

4.1.1. Identificación del ámbito de estudio

La extensión del ámbito de estudio abarcó el 80% de la superficie del distrito de Irazola, área aproximada de 1600 km², que corresponde a la distribución espacial de 19 caseríos a lo largo de la carretera Von Humbolt y sus vías vecinales. Los caseríos identificados fueron: *Nuevo Tahuantinsuyo, Vista Alegre de Chía, Shiringal Alto, Shiringal Bajo, Nuevo Oriente, Nuevo Horizonte, Nuevo Ucayali, Sagrado Corazón de Jesús, Asunción de Aguaytillo, San Juan Km 71, Mar de plata, Canaán de Piedra, Nuevo Satipo, Libertad de Pasaraya, Nuevo Juanjui, Virgen del Carmen, Nolbert Alto Uruya, Nuevo Jerusalén y Nuevo San Alejandro*. La Figura 8, muestra en un mapa la ubicación de cada uno de los caseríos (círculos blancos), además de las UM instaladas en cada uno de los predios del productor.

4.1.2. Identificación de los actores

Se identificaron y encuestaron a 41 productores de cacao pertenecientes a los 19 caseríos, esta información se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3: Información de los productores de cacao.

| Nº | código del productor | Nombre del Productor | Caserío |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 | I04411A | Ambrosio Gómez Juan | Nuevo Tahuantinsuyo |
| 2 | I17911A | Daniel Ramírez Candelario | Vista Alegre de Chía |
| 3 | I18011A | Wilmer Resurrección Salcedo | Vista Alegre de Chía |
| 4 | I17511A | Rosindo Pariona | Vista Alegre de Chía |
| 5 | I06111A | Daniel Zambrano de la Cruz | Shiringal Alto |
| 6 | I06611A | Asunción Martel Carrillo | Shiringal Alto |
| 7 | I06911A | Jhon Inga pulido | Shiringal Alto |
| 8 | I11011A | Toribio Alfonso Alcozer Hinostroza | Shiringal bajo |
| 9 | I10711A | Honorato Aquino Trinidad | Shiringal bajo |
| 10 | I10311A | José Ramírez Morales | Shiringal bajo |
| 11 | I01711A | Eduardo Echevarría Aquino | Nuevo Oriente |
| 12 | I10911A | Santos Cristian Velásquez Valderrama | Nuevo Oriente |
| 13 | I08411A | Limber León Agüero | Nuevo Horizonte |
| 14 | I02611A | Miguel Agustín Noriega Sotelo | Nuevo Ucayali |
| 15 | I02711A | Omar Conejo García | Nuevo Ucayali |
| 16 | I02411A | Juan Carlos Ávila Nieve | Nuevo Ucayali |
| 17 | I03611A | Honorato Espíritu Roberto | Sagrado Corazón de Jesús |
| 18 | I03111A | Alicia Saravia Maíz | Sagrado Corazón de Jesús |
| 19 | I03411A | Ignacia Martínez Tineo | Sagrado Corazón de Jesús |
| 20 | I03911A | Isolina Soria Guerra | Sagrado Corazón de Jesús |
| 21 | I14411A | Gregorio Hermitaño Valdez | Asunción de Aguaytillo |
| 22 | I14611A | Mario Plejo Malpartida | Asunción de Aguaytillo |
| 23 | I13011A | Julián Tapullima Isuiza | San Juan Km 71. |
| 24 | I18511A | Alberto Rubino Rojas | San Juan Km 71. |
| 25 | I12811A | Miguel Navarro Mass | Mar de plata |
| 26 | I05811A | Salvador de la Cruz Quispe | Canaán de Piedra |
| 27 | I19511A | Anaceto Castro | Nuevo Satipo |
| 28 | I20011A | Hernán Barbaran Rengifo | Nuevo Satipo |
| 29 | I11511A | Artidoro Amasifuen Ruiz | Libertad de Pasaraya |
| 30 | I11911A | Alejandro Rojas Blass | Libertad de Pasaraya |
| 31 | I15811A | Washington Ramírez Upiachihua | Nuevo Juanjui |
| 32 | I15511A | Liliana Upiachihua Canepa | Nuevo Juanjui |
| 33 | I00711A | Eufemio Moreno Noriega | Virgen del Carmen |
| 34 | I00211A | Juvenal Mondragón Marlon | Virgen del Carmen |
| 35 | I00611A | Stanislao Saboya Pisco | Virgen del Carmen |
| 36 | I09811A | Luis Ismiño Shupingahua | Nolbert Alto Uruya |
| 37 | I09711A | Ricardo Alberca Lobon | Nolbert Alto Uruya |
| 38 | I09411A | Jilmith Sangama Faching | Nolbert Alto Uruya |
| 39 | I09211A | Juan Salvador Villega | Nolbert Alto Uruya |
| 40 | I16511A | Ambrosio Gonzales Medina | Nuevo Jerusalén |
| 41 | I12711A | Eduardo Sánchez Isuiza | Nuevo San Alejandro |

Todos los caseríos empezaron a poblarse a inicio de los 90s, donde se evidenciaba un incremento del cultivo de cacao promovido por proyectos de erradicación del cultivo de coca. Muchos de los pobladores entrevistados coinciden y afirman que los principales motivos para el asentamiento en estas áreas fueron por la escases de tierras fértiles en sus zonas de origen y por huir de los conflictos armados (muchos de ellos de San Martín). Si bien todos los productores seleccionados en el estudio tienen como principal cultivo el cacao, existen otras prácticas comunes entre los productores de cacao o sus vecinos no cacaoteros, se cultiva palma aceitera, plátano, maíz, arroz, yuca, frejol de palo, cítricos y otros frutales. La ganadería también es una actividad muy común en todos los caseríos; sin embargo, muchos de ellos declaran estar dispuestos a dejar esta actividad por la cantidad de bosque que impacta.

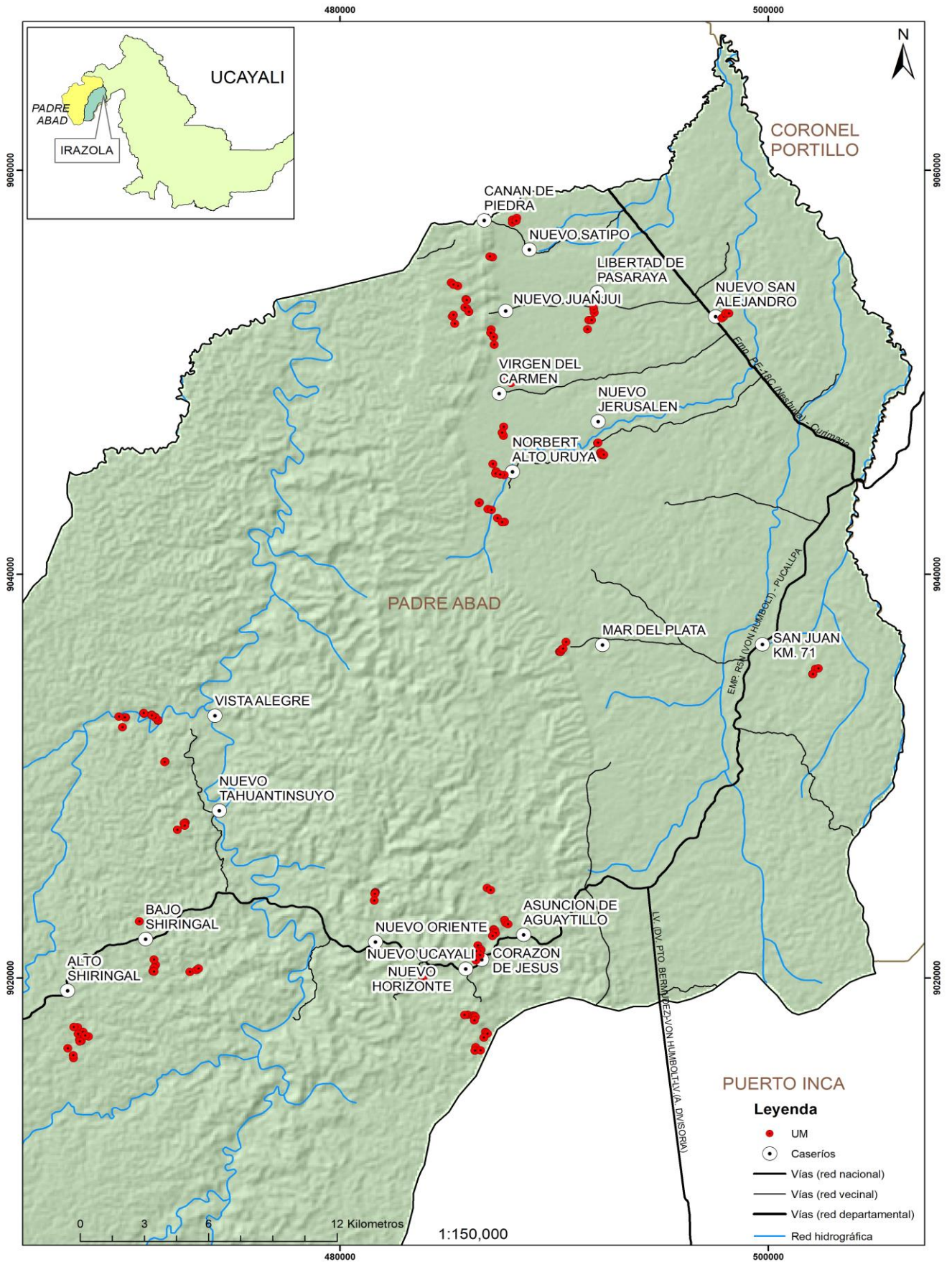


Figura 8: Ubicación de las Unidades de Muestreo (UM)

Las edades de los productores de cacao tienen un rango de 34 a 78 años, siendo la media de 53,2 años y una Mediana de 55; Además el *diagrama de cajas* revela que la edad de la mayoría de los productores se encuentra en el rango de 55 a 60 años. Esto es el reflejo de la migración de los hijos jóvenes hacia las zonas urbanas para continuar sus estudios superiores, muchos de ellos ya no retornan a trabajar en los cultivos familiares de cacao, lo cual ocasiona una tendencia creciente del promedio de la edad de los productores de cacao en la zona. La figura 9 grafica la distribución de los productores de cacao por su edad.

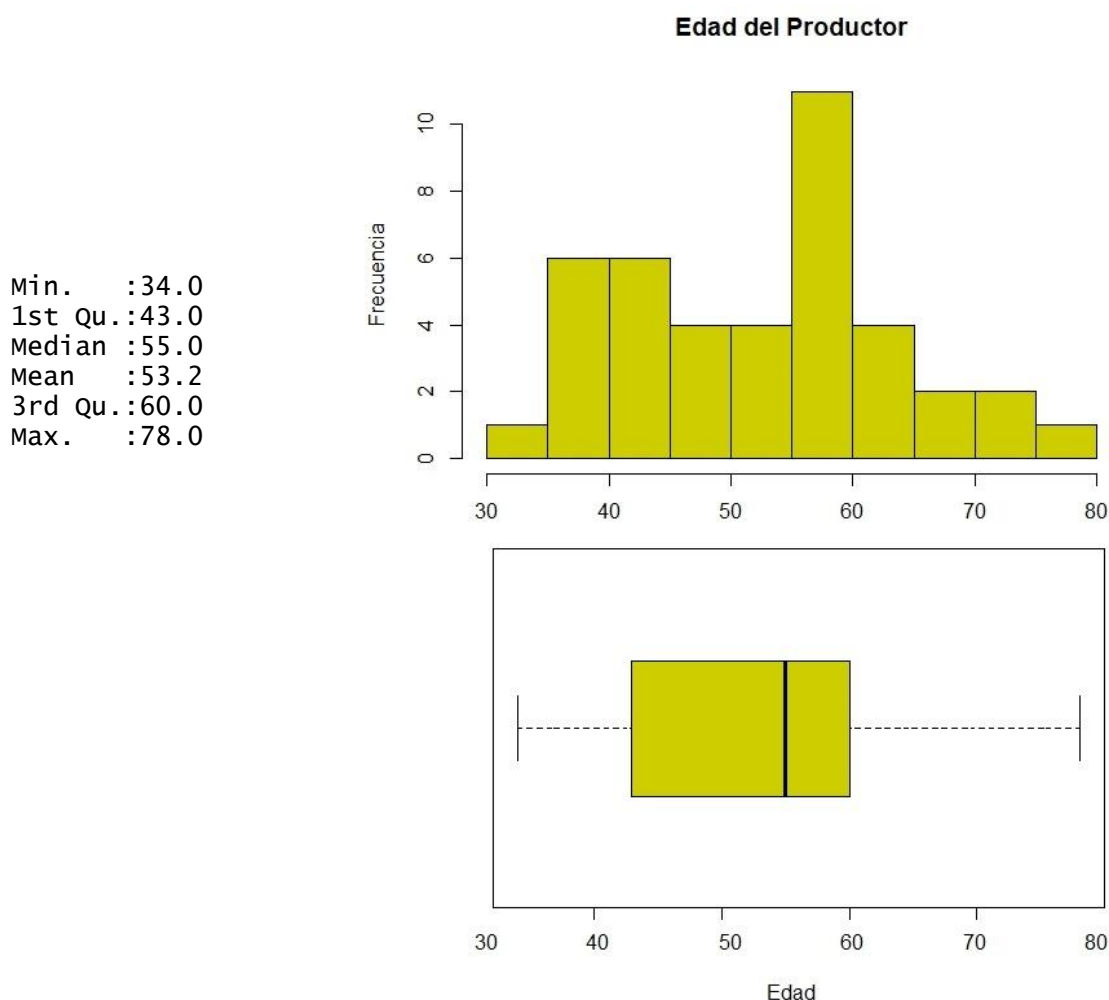


Figura 9: Histograma y *diagrama de cajas* de la edad de los productores de cacao.

4.2. Fase de campo segunda etapa

4.2.1. Identificación de las coberturas de la tierra

Los pequeños productores agrícolas manejan sus tierras y las clasifican bajo sus propios criterios. Consideran Purma Baja y Media aquellas tierras donde se instalaron cultivos de 1 a

3 años, luego fueron abandonadas por 2 a 8 años, en ese momento se da la formación de Purmas Bajas y Medias. En el caso de Purma Alta, el agricultor lo asocia directamente a la fertilidad de la tierra, manifiesta que son tierras donde se instalaron cultivos de coca o son suelos de muy baja fertilidad y por ello, no lo desboscan nuevamente para sus actividades productivas, permitiendo el crecimiento de la Purma Alta superiores a los 8 años. La Figura 10 muestra las coberturas con las características promedio que el agricultor señala para a) Purma Baja (PB); b) Purma Media (PM); c) Purma Alta (PA); d) Monte Real (MR).



Figura 10: Coberturas de la tierra.

4.2.2. Unidades de muestreo (UM)

Las Figuras 11 y 12, muestran la delimitación de una parcela, la cual se realizó mediante la apertura de trochas o transectos en los vértices del cuadrante, señalando los límites de la parcela con el uso de jalones y estacas. En algunos casos solo se establecieron directamente las sub parcelas de UM2 al no encontrarse árboles ni necromasa superior a los 30 cm de

diámetro. No hubo inconvenientes con el acceso a los puntos pre-establecidos para el muestreo. Se instalaron un total de 154 unidades de muestreo, distribuidas en 41 cacaotales (CA), 30 Monte Real, 26 purmas altas, 29 purmas medias y 28 purmas bajas. En las fincas donde no se encontraron todos los usos de la tierra estudiados se levantaron repeticiones de las parcelas; las cuales se muestran con mayor detalle en la Tabla 4.



Figura 11: Levantamiento de la Unidad de Muestreo (UM)

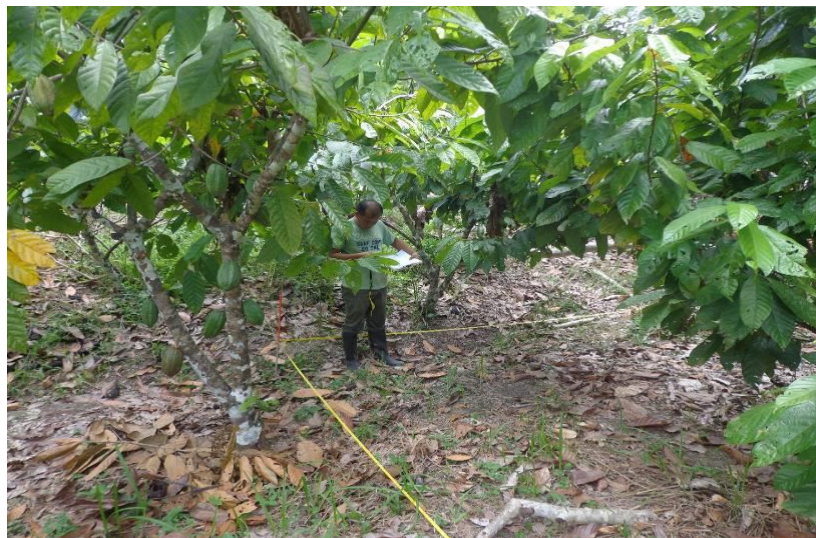


Figura 12: Delimitación de una parcela de cacao.

Tabla 4: Detalle de las unidades de muestreo instaladas

| <i>Código del productor</i> | <i>CA</i> | <i>MR</i> | <i>PA</i> | <i>PM</i> | <i>PB</i> | <i>Sub TOTAL</i> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| I00211A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| I00611A | 1 | 1 | 1 | | 1 | 4 |
| I00711A | 1 | 1 | | 2 | | 4 |
| I01711A | 1 | 1 | | | | 2 |
| I01911A | 1 | | 3 | | 1 | 5 |
| I02411A | 1 | | | 4 | | 5 |
| I02611A | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| I02711A | 1 | | 1 | | 1 | 3 |
| I03111A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| I03411A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| I03611A | 1 | 1 | | | 1 | 3 |
| I03911A | 1 | | 1 | | 2 | 4 |
| I04411A | 1 | 1 | | 3 | | 5 |
| I05811A | 1 | 1 | 1 | | 1 | 4 |
| I06111A | 1 | 1 | 1 | | 1 | 4 |
| I06611A | 1 | 1 | | | 3 | 5 |
| I06911A | 1 | 1 | 1 | | 2 | 5 |
| I08411A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 3 |
| I09211A | 1 | | 3 | | | 4 |
| I09411A | 1 | 1 | | | 1 | 2 |
| I09711A | 1 | 1 | | | 2 | 4 |
| I09811A | 1 | | 3 | | | 4 |
| I10311A | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| I10711A | 1 | 1 | 3 | | | 5 |
| I11011A | 1 | | 1 | 2 | | 4 |
| I11511A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| I11911A | 1 | 1 | | 2 | | 4 |
| I12711A | 1 | | 1 | 2 | | 4 |
| I12811A | 1 | 1 | 2 | | | 4 |
| I13011A | 1 | | | 2 | | 3 |
| I14411A | 1 | 1 | | | | 2 |
| I14611A | 1 | 1 | 2 | | 1 | 5 |
| I15511A | 1 | 1 | | 1 | | 3 |
| I15811A | 1 | 1 | | 1 | 2 | 5 |
| I16511A | 1 | 1 | | | 1 | 3 |
| I17511A | 1 | | | | | 1 |
| I17911A | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 |
| I18011A | 1 | 1 | | 1 | 2 | 5 |
| I18511A | 1 | | | | 3 | 1 |
| I19511A | 1 | 1 | | | | 2 |
| I20011A | 1 | 1 | | 1 | | 3 |
| TOTAL | 41 | 30 | 26 | 29 | 28 | 154 |

4.2.3. Medición de las unidades de muestreo

Se realizó el inventario de todas las unidades de muestreo mencionadas y la colección de muestras de vegetación, hojarasca, raíces, suelo y necromasa. Con la información obtenida en campo se sistematizó una base de datos conformada por 20 tablas cuya información se detalla en la Tabla 4. Esta información ordenada y clasificada será utilizada para los futuros procesamientos y análisis del estudio.

Tabla 4. Información contenida en la base de datos.

| Nombre de la Tabla | Contenido |
|---|---|
| Información general del caserío | Cuenta con la información del encargado de la finca y la relación que tiene con la propiedad. Además del estado de titulación, nombre del caserío al cual pertenece y el código correspondiente al cacaotal. |
| CA_Cobertura por estratos | Porcentajes del área ocupada por los estratos de vegetación (estrato arbóreo, arbustivo, herbáceo) dentro de las parcelas de cacao y las especies dominantes en cada uno de ellos. |
| CA_Descripción de la parcela | Descripción física de la parcela de cacao y la edad desde su instalación. |
| CA_Dinámica CUT | Transición histórica de los distintos usos de la parcela de cacao hasta la actualidad |
| SUELO_DA (Laboratorio) | Resultados del análisis de densidad aparente (DA) realizado en los laboratorios de la UNALM para cada una de las muestras obtenidas en campo. Detalla los pesos secos de las muestras de suelo. |
| UM1_NE | Información obtenida en campo para el cálculo de la necromasa en la Unidad de Muestreo 1 (UM1) |
| UM1_VG | Información obtenida a partir del inventario realizado a todos los árboles con un DAP superior a 30 cm , dentro de la Unidad de Muestreo 1 (UM1) |
| UM2_CA_VG | Información obtenida a partir del inventario realizado a todos los árboles de cacao y diferenciados por su variedad, dentro de la Unidad de Muestreo 2 (UM2) |
| UM2_NE | Información obtenida en campo para el cálculo de la necromasa en la Unidad de Muestreo 2 (UM2) |
| UM2_VG | Información obtenida a partir del inventario realizado a todos los árboles con un DAP superior a 30 cm , dentro de la Unidad de Muestreo 2 (UM2) |
| UM3_HO | Pesos obtenidos en campo de las muestras compuestas y parciales de hojarasca en las Unidades de muestreo 3 (UM3) |
| UM3_VG_Arborea DAP < 2,5 cm | Inventario de las plantas arbóreas con un DAP inferior a 2,5, encontradas en la Unidad de Muestreo 3 (UM3) |
| UM3_VG_Arborea DAP 2,5-5cm | Inventario de las plantas arbóreas con un DAP entre 2,5 y 5 cm, encontradas en la Unidad de Muestreo 3 (UM3) |
| UM3_VG_No arbóreas | Inventario de las plantas no arbóreas encontradas en la Unidad de Muestreo 3 (UM3) |
| UV_Cobertura por estratos | Porcentajes del área ocupada por los estratos de vegetación (estrato arbóreo, arbustivo, herbáceo). |
| UV_Descripción de la parcela | Descripción física de las parcelas y la edad desde su instalación para los distintos uso del suelo. |
| UV_Dinámica CUT | Transición histórica de los distintos usos de la parcela hasta la actualidad |
| VG_RAIZ_HOJARASCA_PESO (Laboratorio) | Resultados del análisis de la Vegetación no arbórea, raíces y hojarasca realizados en los laboratorios de la UNALM. Detalla los pesos secos para plantas no arbóreas, raíces y hojarasca, de las muestras analizadas. |

4.2.4. Inventario de la vegetación (UM1, UM2 y UM3)

La identificación de las especies forestales en las diferentes categorías y clases diamétricas, fue más sencilla en purmas; ya que la predominancia de algunos géneros de árboles pioneros denominados colonizadores como las *Cecropia sp*, *Trema sp*, *Ochroma sp*, *Inga sp*, se perpetúan en toda el área desboscada. A menudo que transcurre los años estas especies van muriendo por efectos de competencia, principalmente por luz, luego aparecen otras especies resistentes a la sombra y muchos de ellas difíciles de reconocer (Figura 13).

Es así que en Purma Baja (PB) y Purma Media (PM), la diversidad de especies es Baja y en caso de Purmas Altas, la cantidad de especies aumenta, pero disminuye la cantidad de individuos y en Monte Real la cantidad de especies es alta, esto se debe a la alta diversidad de los bosques tropicales. Resultado que concuerda con lo encontrado por Blanco y Leyva (2010) y Villareal et al. (2003), quienes obtuvieron una relación directa entre la edad de los barbechos y la composición florística. Sin embargo, para Cayuela *et al.* (2006) esta diferencia no es muy alta, pero en la evaluación preliminar del presente estudio se evidenció una diferencia significativa entre las categorías de Purma Media y Alta.

En Monte Real las especies registradas muestran una diversidad muy grande, encontrándose hasta el 25 por ciento de individuos registrados como NN (árboles desconocidos), el 10 por ciento sólo hasta sus familias botánicas y 15 por ciento hasta el género. Fueron colectadas para la identificación en laboratorios o herbarios botánicos.



Figura 13: Identificación e inventario de la vegetación.

La mayor cantidad de estas especies no identificadas se encontraron en el Monte Real y en un menor porcentaje dentro de las Purmas, en los cacaotales la identificación fue sencilla y se encontraron pocos o ningún individuo NN. La Figura 14 muestra los procedimientos realizados para la obtención de la muestra botánica, lo cual permitió conservar y almacenar las muestras hasta su posterior identificación.



Figura 14: Obtención de muestras botánicas.

a. Evaluación de necromasa

Para la evaluación de la necromasa, se midió los árboles que estuvieron muertos en diferentes estados de descomposición, donde la mayor cantidad de necromasa se registró en las sub parcelas UM2 para todas las coberturas de la tierra estudiadas. Es decir, la mayor cantidad de necromasa pertenece a los individuos que alcanzaron un diámetro entre 5 a 30cm antes de morir (Figura 15).



Figura 15: Evaluación de la necromasa.

b. Hojarasca y vegetación no arbórea (UM3)

Se cosechó toda la vegetación no arbórea al ras del suelo, esto incluyó hierbas, arbustos pequeños, gramíneas, helechos, musgos y rastreras. Se pudo apreciar una mayor cantidad de hojarasca y de forma significativa en los cacaotales, con respecto a las Purmas, esto se debió a las prácticas para evitar el crecimiento de la maleza. En consecuencia, la vegetación no arbórea tuvo el comportamiento contrario, encontrándose poco en cacaotales y abundante en las Purmas. La Figura 16 muestra el preciso momento de la colecta de vegetación y hojarasca. Asimismo, las Figuras 17 y 18 muestran el empaquetado de las muestras.



Figura 16: Evaluación de la hojarasca y a vegetación no arbórea



Figura 17: Picado, pesado y empaquetado de las muestras de vegetación.



Figura 18: Colecta, muestreo y empaquetado de la hojarasca.

No hubo ningún inconveniente para la obtención de las muestras de hojarasca y vegetación. Sin embargo, la actividad se tornaba difícil luego de una precipitación repentina, esto ocasionó dificultad para cortar la vegetación y el desgaste del filo las herramientas.

c. Muestreo de suelo

El uso del barreno para la colecta de las muestras del suelo, favoreció bastante el trabajo de campo al ser un instrumento fácil de usar. En algunos suelos con presencia de piedras el barreno tuvo complicaciones para alcanzar la profundidad necesaria, se tuvo mayor cuidado en estos suelos con el fin de evitar dañar la herramienta. En cambio, el uso de los cilindros ocasionó mayor complicación para alcanzar las profundidades correspondientes a cada horizonte, la presencia de piedra o los suelos húmedos y compactados, complicó la labor, los filos de los cilindros se dañaban al ser golpeados contra una piedra, es por ello que la mayoría no entro en su totalidad. Se registraron las profundidades para cada una de las muestras y su peso húmedo. La figura 19 muestra la secuencia de actividades para la colecta de la muestra de suelo.

La Figura 20 muestra la preparación de las muestras de suelo, vegetación y hojarasca para su transporte a Lima y posterior análisis en el laboratorio de la UNALM.



Figura 19: Colecta de las muestras de suelo.



Figura 20: Preparación de las muestras para su transporte.

4.3. Fase de procesamiento y análisis

4.3.1. Priorización y caracterización de la información de campo

A partir de la clasificación y sistematización de la información obtenida en campo se obtuvo 3 bases de datos que contienen: primera base de datos con información biofísica, aquí se tiene la información del inventario y los resultados de la estimación de carbono y diversidad florística para cada una de las unidades de muestreo; la segunda base de datos con información espacial, mediante la ubicación de cada parcela, obtenida mediante puntos GPS, se incluyó información secundaria de factores políticos y geográficos, como distancias a los caseríos y centros poblados; la tercera base de datos se diseñó en base a la información de las encuestas, diseñando una matriz de cambio de uso de la tierra y la caracterización de los actores. Este ordenamiento y clasificación fue de mucha utilidad al trabajar con gran cantidad de información, además permitió establecer puntos de partida en cada uno de los análisis obtenidos a continuación.

4.3.2. Análisis de la dinámica del cambio de uso de la tierra

Dentro de los resultados obtenidos a partir de las encuestas se han identificado las distintas dinámicas y transiciones del uso de la tierra dentro de las fincas de los productores de cacao. Se observaron cinco distintos usos de la tierra (Cultivos agrícolas, Pastos, Plantaciones, cultivos de cacao y Purmas) y el Monte real como cobertura inicial en las distintas dinámicas del cambio de uso de la tierra. Se lograron identificar los siguientes ciclos o transiciones:

- El bosque primario o Monte Real sufre una deforestación debido a la expansión agrícola, el Monte Real sufre una **conversión** (cambio de categoría) en cultivos de arroz, para cambiar luego la intensidad del cultivo hacía maíz (**modificación**). Aquí se aprecia el primer ciclo de cultivos anuales, el cual culminará con una baja fertilidad del suelo y en el abandono de la parcela para dar lugar a la formación de Purma.
- **Conversión** del Monte Real en cultivos de maíz, al realizar la práctica de monocultivo el suelo perderá fertilidad lo cual conlleva al abandono de la parcela para la formación de Purma y enriquecimiento del suelo de forma natural. Finalmente se regresa a la parcela para iniciar otro ciclo de cultivos de maíz o arroz asociado con maíz. Esta actividad vuelve a repetirse en un sistema de uso de la tierra dentro de las parcelas agrícolas y Purmas.

- **Conversión** del Monte Real en cultivos de plátano, plátano con yuca, algodón o coca. Luego se realiza una **modificación** mediante plantaciones de árboles de cacao, considerados como cultivos permanentes, los cuales pueden ser considerados un uso final para la parcela. Los cultivos de cacao pueden encontrarse como monocultivos o asociados a otras especies arbóreas (instaladas o remanentes) como sistemas agroforestales. En el caso de la coca su transición termina en la formación de Purma. Los agricultores manifiestan que las Purmas provenientes de cultivos de coca son de muy baja fertilidad y por ello no es muy común realizar otra actividad productiva en estas áreas.
- **Conversión** de las Purmas en pastizales, el aprovechamiento de los nutrientes generados en la formación de la Purma favorece el crecimiento de pastizales, motivo por el cual, mediante la roza y quema de las Purmas se realiza la instalación de parcelas extensas de pastos. Esta práctica es identificada como un ciclo permanente de Purma-Pasto-Purma, estas transiciones en los casos observados se repiten cada 5 años.
- Reforestación o **modificación** de las Purmas mediante la instalación de especies forestales maderables (bolaina y capirona con mayor frecuencia). Esta actividad se realiza con fines comerciales y puede resultar en el eslabón final de la dinámica del cambio de uso de la tierra o prolongar el tiempo hasta la siguiente transición en la parcela.
- **Conversión** de las Purmas en cultivos permanentes de cacao. Esta transición requiere del raleo de una porción de cobertura vegetal, con la finalidad de obtener el espacio suficiente para la instalación del cacao, manteniendo especies arbóreas que brinden sombra a los cultivos de cacao. La transición hacía los cultivos de cacao también se considera un eslabón final en la dinámica del cambio de uso de la tierra o la prolongación hacia la siguiente transición.

La Figura 21 resume las distintas transiciones y formación de los ciclos permanentes o estacionarios del cambio de uso de la tierra dentro de las fincas de los productores de cacao en Irazola. Se representa como ciclos permanentes, aquellos ciclos cuyo cambio de uso de la tierra se repite una y otra vez con solo una actividad productiva sobre el suelo. Por ejemplo Purma – Pasto – Purma - Pasto y Maíz – Purma – Maíz – Purma.

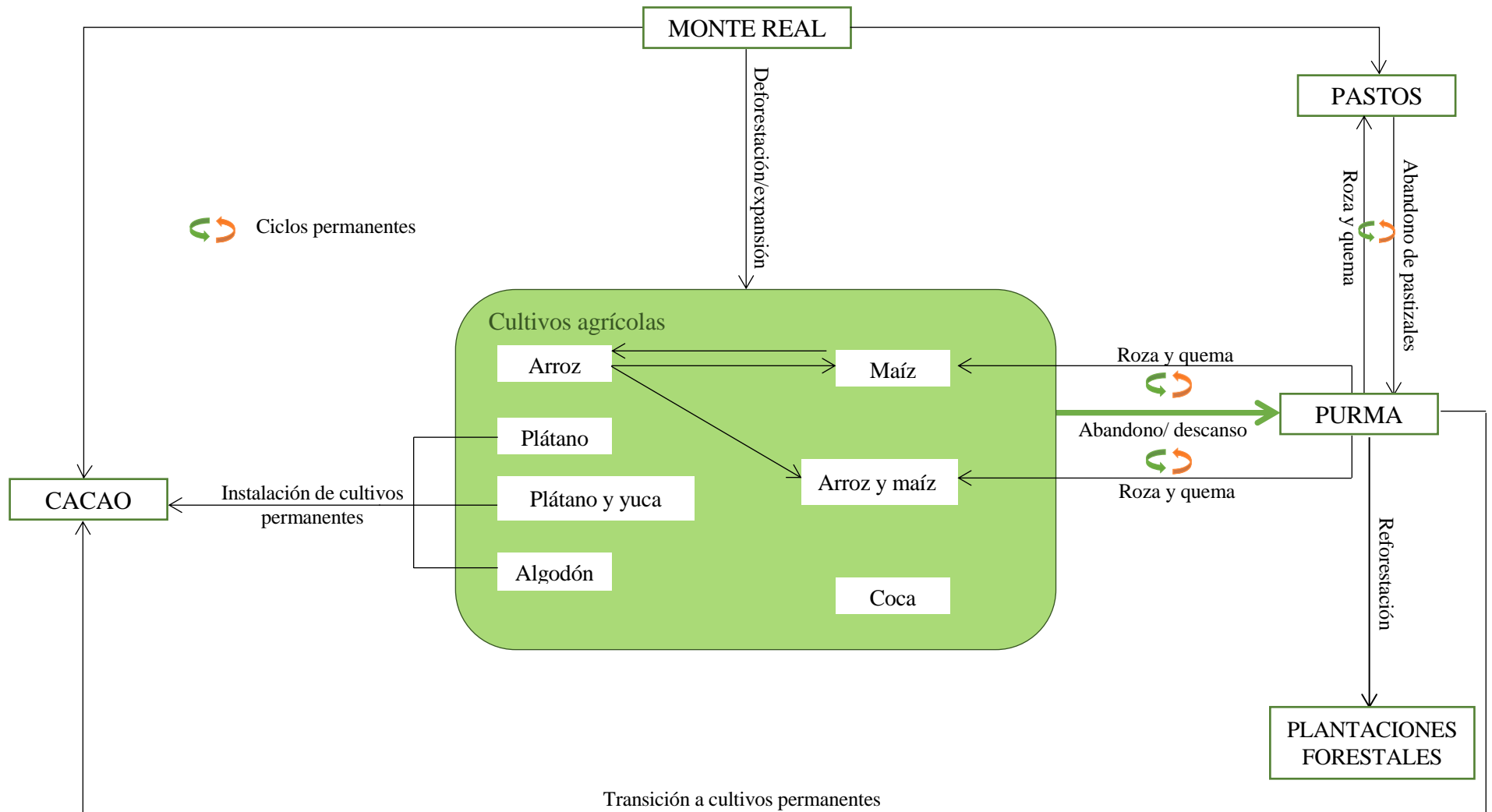


Figura 21: Dinámica y transiciones del cambio de uso de la tierra en el distrito de Irazola

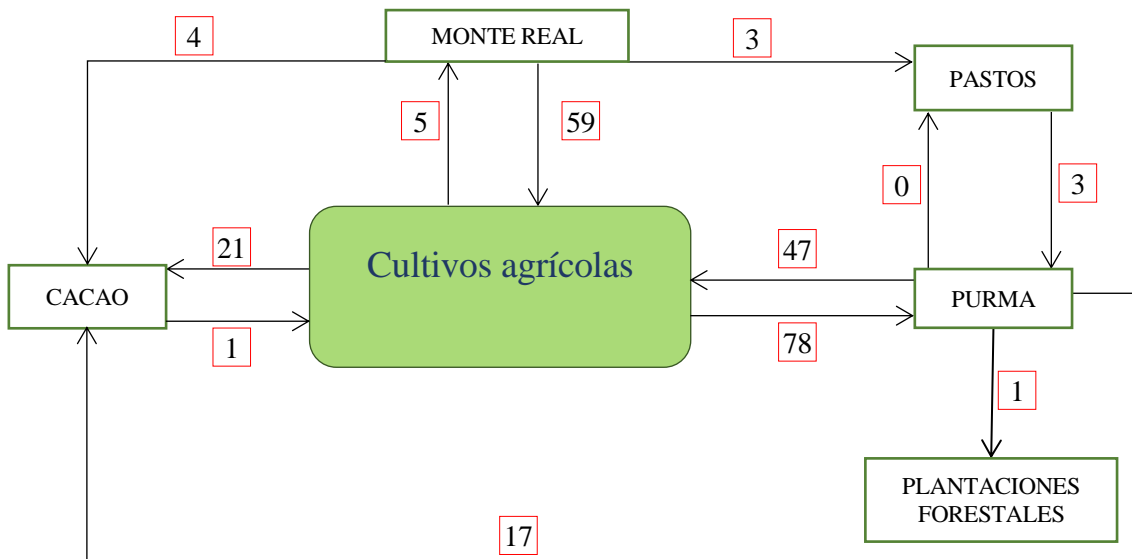


Figura 22: Conteo de las transiciones en el cambio de uso de la tierra en el distrito de Irazola.

La Figura 22 nos muestra el número de veces que fueron observadas cada una de las transiciones dentro de la dinámica del cambio de uso de la tierra. Se puede apreciar que la transición más observada en el estudio se dio de cultivos agrícolas a Purmas o tierras en descanso y el retorno a cultivos agrícolas se mostró en una menor cantidad, esto, debido a que aún no cumplían con una edad de descanso ideal o se dio un cambio de uso hacia cultivos de Cacao o Plantaciones Forestales (en solo un caso). La conversión de Monte Real a cultivos agrícolas es el principal motivo de la deforestación, seguido del cambio a cultivos de cacao y uso como pasto, ambos en muy pocas ocasiones (4 y 3 respectivamente). En algunos casos los productores de cacao prefirieron hacer una transición directa de cultivos agrícolas a cacao, sin permitir la recuperación de la tierra a partir del descanso y formación de Purmas.

La Figura 23 muestra las transiciones en cuatro etapas de la dinámica del cambio de uso de la tierra; la primera transición muestra el uso que se le dio a la tierra desde la llegada o adquisición del bosque hasta los primeros años antes de sus siguientes transiciones. En algunos casos (21) se mantuvo el bosque o Monte Real sin intervención y posterior a unos años se realizó el cambio de uso. Mientras tanto en 41 ocasiones se intervino el bosque de forma inmediata y se convirtió en uso agrícola.

Los resultados concuerdan con lo expresado por Hiernaux *et al.* (2009); Smith *et al.* (1997); Walker y Homma (1996) y Young (1997), con respecto al primer comportamiento del cambio de uso de la tierra, donde la primera transición se da en gran medida hacia la agricultura tradicional, para luego dar lugar al manejo de las purmas y uso de la tierra a partir de cultivos permanentes como el cacao y algunas plantaciones forestales como se muestra en la Figura 23. A partir de las transiciones podemos apreciar que solo un porcentaje menor a 30% regresó a un cultivo agrícola tradicional mientras que el 60% restante se mantuvo como purmas de diferentes edades y cacaotales, las cuales mostraron una tendencia creciente en cada una de las transiciones del cambio de uso de la tierra. Esta tendencia a disminuir el área de cultivo tradicional es un ejemplo de la consecuencia de lo afirmado por Smith *et al.* (2006) sobre el aumento de la valoración de la cubierta arbórea por los agricultores como fuente de material de construcción, provisión de productos no maderable o por los servicios ecosistémicos que brindan.

Teniendo como referencia lo mencionado por Coomes *et al.* (2000), sobre la influencia de la disponibilidad de la mano de obra en la transformación y cambio de uso de la tierra. Por lo tanto, el hecho de que los productores muestreados tengan edades en un rango de 34 a 78 años, siendo la media de 53,2 años y una Mediana de 55, además de la tendencia migratoria de los jóvenes a la ciudad, nos permite entender uno de los motivos para el aumento de las purmas y cacaotales y la disminución de las áreas extensas con cultivos agrícolas.

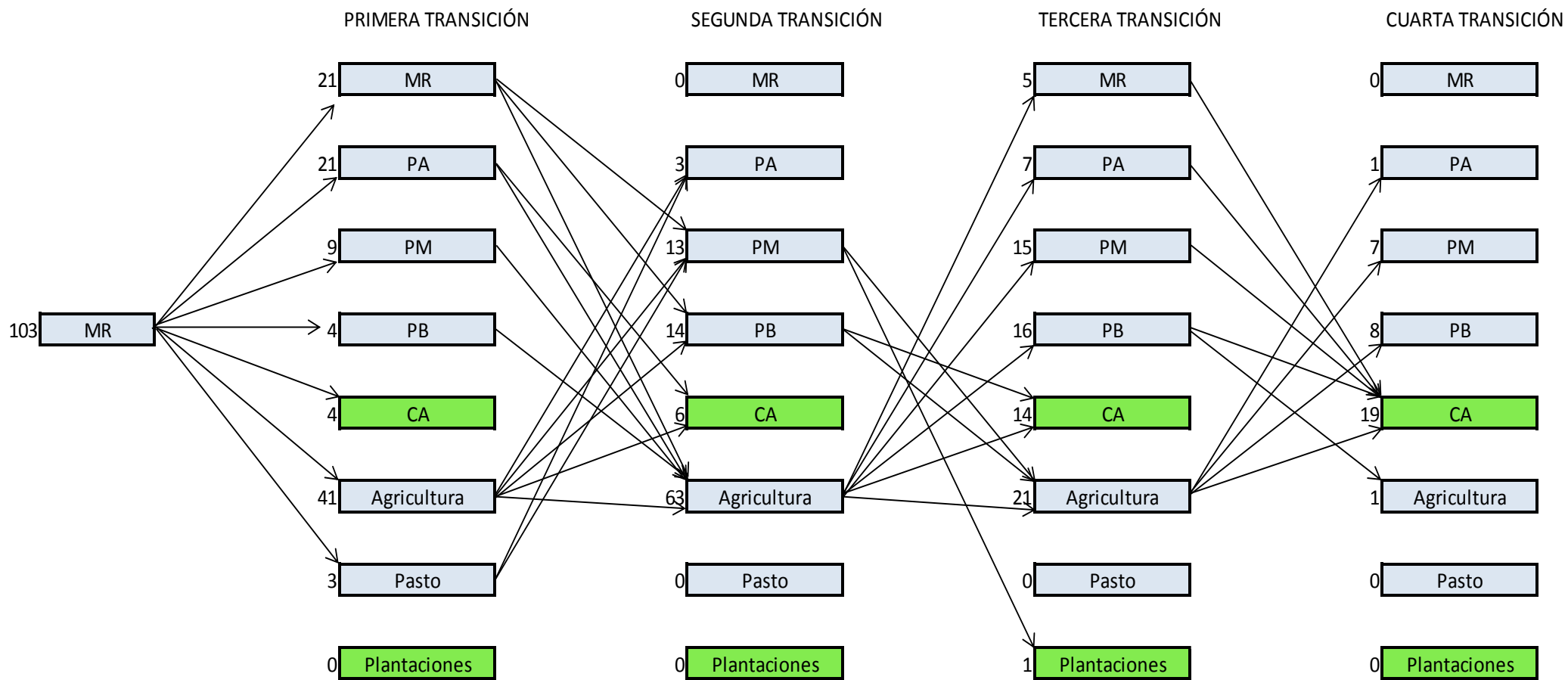


Figura 23: Transiciones detalladas por periodos dentro de la dinámica del cambio de uso de la tierra.

4.3.3. Estimación del stock de carbono en los usos de la tierra

A partir de las mediciones de los árboles en pie se obtuvo el carbono total almacenado en cada parcela de los diferentes usos de la tierra, y el subtotal según la procedencia del mismo, de cada una de las fincas de los productores de cacao.

a. Carbono en la biomasa aérea

La Tabla 5 contiene las estimaciones de carbono total en la biomasa aérea por cada uno de los usos de la tierra estudiados por cada productor. Existe una relación directa entre la variabilidad de los resultados obtenidos con la cantidad de carbono que puede almacenar el uso de la tierra, en aquellos usos donde el almacenamiento promedio de carbono es mayor (MR y PA) se tiene una mayor variabilidad de los datos individuales, la PB tiene una variabilidad menor a todos los anterior, así como su carbono total almacenado (Figura 24). Este comportamiento de los resultados se debe a la estructura y diversidad florística de las Purmas, las cuales se vuelve más compleja conforme permanecen en reposo hasta convertirse en Monte Real, es por ello, que encontraremos una menor variabilidad de las parcelas en cobertura menos desarrollada que en una cobertura de la tierra con mayor diversidad y una estructura más compleja debido a su desarrollo sucesional.

Tabla 5: Carbono almacenado en la biomasa aérea.

| CARBONO TOTAL EN LA BIOMASA AÉREA (tC/ha) | | | | | |
|--|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Código del productor | Cacao | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | 21.562 | 70.479 | | 26.316 | 2.051 |
| I00611A | 21.691 | 59.220 | 22.410 | | 9.304 |
| I00711A | 18.799 | 75.022 | | 35.367 | |
| I01711A | 16.788 | 30.957 | | | |
| I01911A | 19.968 | | 24.364 | | 8.634 |
| I02411A | 26.544 | | | 14.717 | |
| I02611A | 13.783 | 22.017 | 12.311 | 10.317 | 1.233 |
| I02711A | 24.319 | | 17.625 | | 0.934 |
| I03111A | 19.558 | 67.747 | | 24.011 | 0.283 |
| I03411A | 10.891 | 47.302 | | 10.497 | 2.375 |
| I03611A | 20.744 | 46.901 | | | 1.691 |
| I03911A | 25.069 | | 48.192 | | 0.741 |
| I04411A | 57.997 | 85.804 | | 14.790 | |
| I05811A | 19.079 | 91.393 | 47.326 | | 4.220 |
| I06111A | 13.393 | 83.654 | 57.097 | | 0.591 |
| I06611A | 20.532 | 83.204 | | | 6.702 |
| I06911A | 15.452 | 56.980 | 27.539 | | 8.739 |
| I08411A | 24.520 | 64.601 | | 11.004 | 5.977 |
| I09211A | 25.620 | | 23.271 | | 0.316 |
| I09411A | 40.929 | 72.843 | | | 0.296 |
| I09711A | 15.559 | 71.698 | | | 4.447 |
| I09811A | 20.608 | | 23.783 | | |
| I10311A | 32.221 | 65.605 | 17.072 | 17.642 | 1.868 |
| I10711A | 19.578 | 47.120 | 27.845 | | |
| I11011A | 18.872 | | 18.072 | 22.769 | |
| I11511A | 23.947 | 57.333 | | 26.048 | 0.119 |
| I11911A | 12.852 | 44.655 | | 21.358 | |
| I12711A | | | 71.085 | 5.113 | |
| I12811A | 19.707 | 76.657 | 33.699 | | |
| I13011A | 5.829 | | | 6.737 | |
| I14411A | 16.199 | 69.397 | | | |
| I14611A | 19.943 | | 31.666 | | 14.175 |
| I15511A | 13.090 | 73.919 | | 27.888 | |
| I15811A | 12.021 | 59.262 | | 11.290 | 3.838 |
| I16511A | 7.167 | 121.944 | | | 4.137 |
| I17511A | 20.794 | | | | |
| I17911A | 38.024 | 91.944 | | 21.379 | 4.864 |
| I18011A | 49.737 | 45.362 | | 19.974 | 11.665 |
| I18511A | 20.768 | | | | 0.966 |
| I19511A | 8.259 | 41.829 | | | |
| I20011A | 18.777 | 93.286 | | 17.670 | |
| Total general | 851.190 | 1918.135 | 503.358 | 344.888 | 100.165 |
| Promedio | 21.280 | 66.143 | 31.460 | 18.152 | 4.007 |
| Max | 57.997 | 121.944 | 71.085 | 35.367 | 14.175 |
| Min | 5.829 | 22.017 | 12.311 | 5.113 | 0.119 |

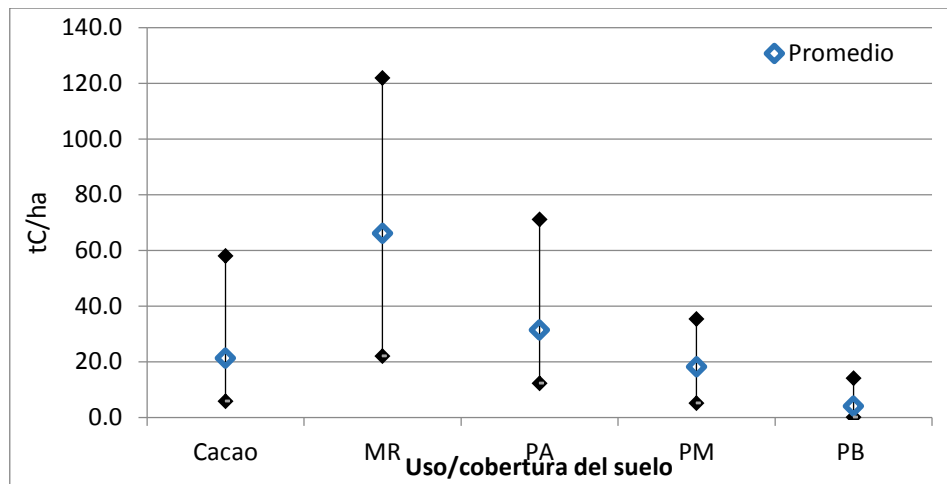


Figura 24: Promedio del carbono en la biomasa aérea por uso y cobertura de la tierra.

El carbono de la biomasa aérea es representado por la cobertura arbórea y arbustiva de suelo, es por ello, que se puede apreciar que la mayor acumulación de carbono sobre el suelo se da en el Monte real, debido a la permanencia de la cobertura por un largo tiempo de crecimiento, seguido por la PA, PM y PB, de menor tiempo de descanso para su recuperación. Sin embargo, el uso de la tierra como cacaotal contiene una mayor cantidad de carbono almacenado a comparación de una Purma Media; es decir, que los sistemas productivos de cacao tienen el potencial de almacenar en su estructura aérea una cantidad superior a una Purma con un tiempo de descanso aproximado de 4 a 8 años.

b. Carbono en la hojarasca del suelo

La Tabla 6 contiene las estimaciones de carbono total almacenado en la hojarasca del suelo por cada uno de los usos de la tierra estudiados por cada productor. La variabilidad de la cantidad de carbono almacenado en cada uno de los usos de la tierra es muy alta (Figura 25), esto puede ser explicado por el tipo de manejo que se realice en cada una de las fincas de los productores de forma particular. Algunos productores aseguraban que manejaban la acumulación de hojarasca para evitar la propagación de hierba mala (en cacaotales) y en las Purmas jóvenes las retiraban para promover el crecimiento de la regeneración natural. En aquellas Purmas donde no se maneja la hojarasca, la acumulación será directamente proporcional a la cantidad de árboles, siendo mayor en Purmas de mayor edad.

Tabla 6: Carbono almacenado en la hojarasca del suelo.

| CARBONO TOTAL EN LA HOJARASCA DEL SUELO (tC/ha) | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Código del productor | CA | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | 2.321 | 3.184 | | 4.132 | 2.463 |
| I00611A | 3.077 | 2.808 | 2.613 | | 2.821 |
| I00711A | 8.072 | 2.650 | | 1.038 | |
| I01711A | 2.882 | 4.320 | | | |
| I01911A | 3.328 | | 1.435 | | 3.459 |
| I02411A | 9.127 | | | 0.665 | |
| I02611A | 4.905 | 2.100 | 5.045 | 4.486 | 3.102 |
| I02711A | 4.830 | | 3.264 | | 2.349 |
| I03111A | 2.393 | 4.931 | | 5.352 | 2.201 |
| I03411A | 4.861 | 3.389 | | 3.809 | 2.844 |
| I03611A | 2.820 | 2.965 | | | 2.945 |
| I03911A | 2.914 | | 4.073 | | 1.448 |
| I04411A | 3.828 | 3.584 | | 1.320 | |
| I05811A | 3.669 | 5.980 | 2.987 | | 3.869 |
| I06111A | 1.965 | 7.586 | 3.746 | | 2.683 |
| I06611A | 6.232 | 4.686 | | | 0.893 |
| I06911A | 2.635 | 4.231 | 3.235 | | 1.776 |
| I08411A | 2.236 | 4.162 | | 1.901 | 3.200 |
| I09211A | 2.422 | | 0.747 | | |
| I09411A | 2.617 | 1.899 | | | |
| I09711A | 4.621 | 1.046 | | | 0.415 |
| I09811A | 4.196 | | 0.846 | | |
| I10311A | 2.677 | | 9.564 | 3.196 | 1.667 |
| I10711A | 5.138 | 4.884 | 1.197 | | |
| I11011A | 5.043 | | 4.349 | 1.107 | |
| I11511A | 6.230 | 3.466 | | 3.683 | 0.976 |
| I11911A | 6.339 | 2.426 | | 1.036 | |
| I12711A | 9.956 | 3.617 | | 1.170 | |
| I12811A | 2.249 | 3.431 | 1.233 | | |
| I13011A | 5.199 | | | 1.484 | |
| I14411A | 3.066 | 4.368 | | | |
| I14611A | 2.974 | | 1.739 | | 3.216 |
| I15511A | 1.345 | 1.143 | | 1.456 | |
| I15811A | 5.029 | 1.074 | | 1.843 | 0.651 |
| I16511A | 3.156 | 1.947 | | 2.531 | 0.844 |
| I17511A | 0.965 | | | | |
| I17911A | 7.293 | 4.205 | | 4.357 | 2.680 |
| I18011A | 5.773 | 4.144 | | 2.544 | 0.855 |
| I18511A | 7.759 | | | | 0.722 |
| I19511A | 3.827 | 6.688 | | | |
| I20011A | 3.974 | 4.148 | | 2.529 | |
| Total general | 173.947 | 105.063 | 46.074 | 49.637 | 48.080 |
| Promedio | 4.243 | 3.623 | 3.072 | 2.482 | 2.090 |
| MAX | 9.956 | 7.586 | 9.564 | 5.352 | 3.869 |
| MIN | 0.965 | 1.046 | 0.747 | 0.665 | 0.415 |

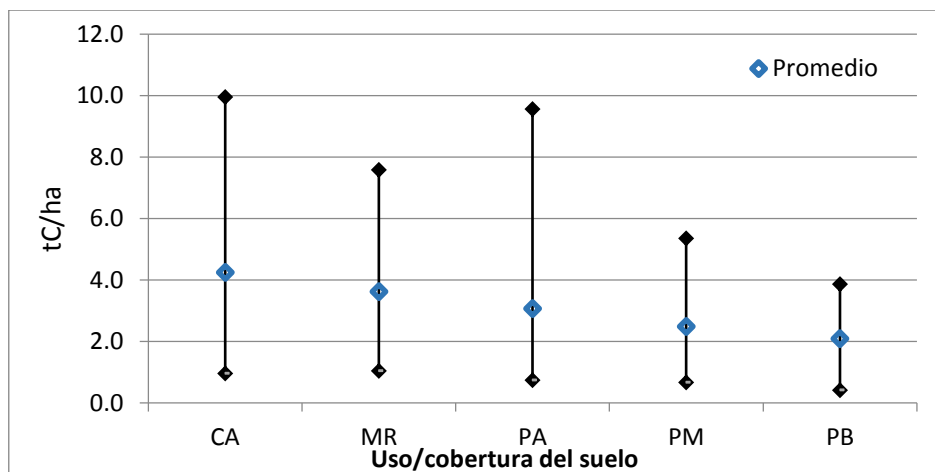


Figura 25: Promedio del carbono en la hojarasca por cobertura y uso de la tierra.

Los promedios muestran un crecimiento directamente proporcional a las edades de las áreas en descanso (Purmas y MR). Los cacaotales mostraron una mayor acumulación de hojarasca, promovida por los productores de cacao para evitar la propagación de hierba o regeneración que pueda competir por nutrientes con los árboles de cacao.

c. Carbono en las ramas y raíces sobre el suelo

La Tabla 7 contiene las estimaciones de carbono del total de ramas y raíces para cada una de las fincas de los productores y los usos de la tierra estudiados. Los resultados muestran valores mayores para la PB a comparación con la PM, es común encontrar mucho material vegetal como residuos de la cobertura o el uso anterior a la Purma, es por ello, que se encontró una mayor presencia de ramas y raíces en Purmas jóvenes. Sin embargo, a partir de Purmas de 8 años a más, se aprecia una tendencia creciente de forma directamente proporcional a la edad de la Purma, es decir, a mayor edad de la purma mayor contenido de ramas y raíces sobre el suelo, esto se debe a la disminución de la incidencia de luz, típico de bosques cerrados o Purmas Altas, donde la poca incidencia de luz y la protección de las copas a la erosión de la lluvia sobre la biomasa caída, permite que las ramas y raíces permanezcan más tiempo sobre el suelo, debido a su lenta descomposición. La variabilidad de los datos se grafica en la Figura 26.

Tabla 7: Carbono almacenado en las ramas y raíces sobre el suelo.

| CARBONO TOTAL EN LAS RAMAS Y RAÍCES SOBRE EL SUELO (tC/ha) | | | | | |
|---|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Código del productor | CA | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | 3.024 | 2.891 | | 2.302 | 1.569 |
| I00611A | 0.601 | 5.220 | 1.065 | | 3.365 |
| I00711A | 0.965 | 2.110 | | 1.728 | |
| I01711A | 2.345 | 2.632 | | | |
| I01911A | 1.427 | | 1.843 | | 2.942 |
| I02411A | 0.839 | | | 1.837 | |
| I02611A | 0.405 | 1.427 | 1.876 | 2.974 | 0.948 |
| I02711A | 2.235 | | 1.019 | | 1.667 |
| I03111A | 1.937 | 1.971 | | 0.482 | 0.668 |
| I03411A | 2.529 | 3.106 | | 3.344 | 6.394 |
| I03611A | 1.769 | 7.336 | | | 2.447 |
| I03911A | 1.862 | | 7.129 | | 2.432 |
| I04411A | 2.646 | 4.909 | | 1.494 | |
| I05811A | 1.236 | 3.450 | 2.142 | | 1.908 |
| I06111A | 0.104 | 5.129 | 2.678 | | 3.184 |
| I06611A | 3.009 | 1.842 | | | 1.610 |
| I06911A | 2.127 | 2.146 | 2.315 | | 1.359 |
| I08411A | 4.257 | 4.584 | | 2.268 | 3.567 |
| I09211A | 0.470 | | 0.969 | | |
| I09411A | 0.900 | 5.015 | | | |
| I09711A | 5.096 | 1.485 | | | 1.306 |
| I09811A | 0.468 | | 2.306 | | |
| I10311A | 0.717 | | 6.201 | 0.532 | 1.187 |
| I10711A | 0.493 | 3.404 | 2.017 | | |
| I11011A | 1.316 | | 1.712 | 1.651 | |
| I11511A | 0.785 | 4.656 | | 1.423 | 3.487 |
| I11911A | 0.467 | 9.848 | | 1.623 | |
| I12711A | 0.078 | 2.347 | | 1.412 | |
| I12811A | 2.157 | 0.934 | 3.061 | | |
| I13011A | 0.721 | | | 3.780 | |
| I14411A | 0.762 | 0.945 | | | |
| I14611A | 0.809 | | 3.384 | | 2.093 |
| I15511A | 0.792 | 1.771 | | 1.102 | |
| I15811A | 1.902 | 3.761 | | 1.045 | 1.195 |
| I16511A | 0.454 | 8.217 | | 5.038 | 0.733 |
| I17511A | 1.757 | | | | |
| I17911A | 2.957 | 6.536 | | 1.102 | 1.083 |
| I18011A | 2.782 | 4.604 | | 1.414 | 3.417 |
| I18511A | 2.586 | | | | 2.618 |
| I19511A | 0.587 | 3.080 | | | |
| I20011A | 1.367 | 2.688 | | 3.347 | |
| Total general | 63.738 | 108.044 | 39.716 | 39.898 | 51.178 |
| Promedio | 1.555 | 3.726 | 2.648 | 1.995 | 2.225 |
| MAX | 5.096 | 9.848 | 7.129 | 5.038 | 6.394 |
| MIN | 0.078 | 0.934 | 0.969 | 0.482 | 0.668 |

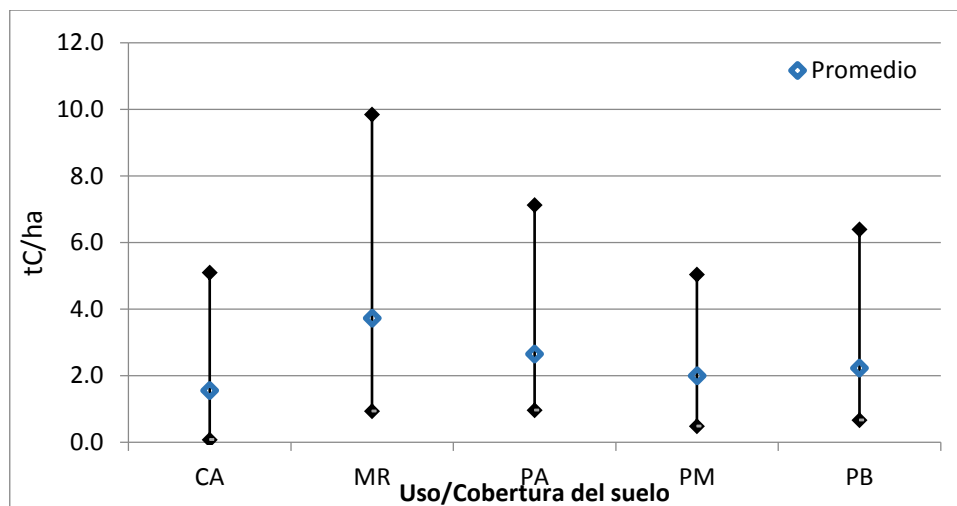


Figura 26: Promedio del carbón almacenado en ramas y raíces sobre el suelo.

En el caso de las ramas y raíces sobre el suelo, se puede apreciar que los cacaotales presentaron significativamente menor cantidad de carbono almacenado en su estructura, esto se debe a que son áreas manejadas donde todos los árboles cumplen con un fin productivo o de provisión de algún recurso o servicio ecosistémico; como son los árboles de sombra para el cacao, los cuales son especies que no presentan poda natural, ya que la caída de ramas podría dañar el cultivo. Además, solo se realizaron podas necesarias a los árboles de cacao, debido a que las ramificaciones en buen estado del árbol representan una mayor producción del fruto, es por ello, que el productor procura mantener la mayor cantidad de ramificaciones por árboles de cacao.

d. Carbono en la biomasa no arbórea

La Tabla 8 contiene el carbono almacenado en la biomasa no arbórea (hierbas, arbustos, gramíneas, helechos, musgos, rastreras, ...) para cada una de las fincas de los productores y los usos de la tierra. Se observó en campo que la cantidad de biomasa no arbórea está definida por la cantidad de claros presentes en las coberturas, en aquellas Purmas menos densas que permiten la entrada de luz se pudo apreciar gran cantidad de hierbas y gramíneas. Así mismo la caída de un árbol en el MR permite la apertura de un claro, lo cual contribuye a la aparición de esta vegetación. Es así, que los resultados muestran alta variabilidad, ya que la presencia o ausencia de biomasa no arbórea está directamente relacionada a claros o a la densidad de las Purmas en su etapa inicial. La variabilidad de los datos es alta para todos los usos de la tierra menos para Purma Alta, seguido de la Purma baja, como se grafica en la Figura 27.

Tabla 8: Carbono almacenado en la biomasa no arbórea.

| CARBONO TOTAL EN LA BIOMASA NO ARBÓREA (tC/ha) | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Código del productor | CA | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | | 0.268 | | 0.215 | 0.060 |
| I00611A | 0.053 | 0.219 | 0.151 | | 0.516 |
| I00711A | 0.014 | 0.189 | | 0.054 | |
| I01711A | 0.104 | 0.339 | | | |
| I01911A | 0.144 | | 0.070 | | 0.158 |
| I02411A | 0.096 | | | 0.037 | |
| I02611A | 0.031 | 0.194 | 0.162 | 0.320 | 0.082 |
| I02711A | 0.128 | | 0.037 | | 0.058 |
| I03111A | 0.678 | 0.179 | | 1.120 | 0.173 |
| I03411A | 0.217 | 0.140 | | 0.047 | 0.136 |
| I03611A | 0.029 | 0.254 | | | 0.161 |
| I03911A | 0.008 | | 0.130 | | 0.042 |
| I04411A | 0.046 | 0.036 | | 0.038 | |
| I05811A | 0.007 | 0.135 | 0.280 | | 0.252 |
| I06111A | 0.209 | 0.076 | 0.200 | | 0.011 |
| I06611A | 0.005 | 0.101 | | | 0.011 |
| I06911A | 0.071 | 0.049 | 0.133 | | 0.064 |
| I08411A | 0.084 | 0.101 | | 0.025 | 0.057 |
| I09211A | 0.003 | | 0.030 | | |
| I09411A | 0.038 | 0.051 | | | |
| I09711A | | 0.058 | | | 0.082 |
| I09811A | 0.007 | | 0.042 | | |
| I10311A | 0.219 | | 0.128 | 0.045 | 0.158 |
| I10711A | 0.114 | 0.022 | 0.020 | | |
| I11011A | 0.054 | | 0.003 | 0.046 | |
| I11511A | 0.258 | 0.171 | | 0.042 | 0.422 |
| I11911A | 0.060 | | | 0.146 | |
| I12711A | 0.829 | 0.024 | | 0.038 | |
| I12811A | 0.105 | 0.166 | 0.188 | | |
| I13011A | 0.203 | | | 0.170 | |
| I14411A | 0.058 | 0.098 | | | |
| I14611A | 0.074 | | 0.165 | | 0.058 |
| I15511A | 0.003 | 0.014 | | 0.069 | |
| I15811A | 0.040 | 0.847 | | 0.535 | 0.093 |
| I16511A | 0.081 | 0.032 | | 0.159 | |
| I17511A | 0.144 | | | | |
| I17911A | 0.074 | 0.044 | | 0.043 | 0.312 |
| I18011A | 0.004 | 0.004 | | 0.143 | 0.119 |
| I18511A | 0.011 | | | | 0.209 |
| I19511A | 0.669 | 0.361 | | | |
| I20011A | 0.009 | 0.075 | | 0.357 | |
| Total general | 4.983 | 4.249 | 1.741 | 3.650 | 3.233 |
| Promedio | 0.128 | 0.152 | 0.116 | 0.182 | 0.147 |
| MAX | 0.829 | 0.847 | 0.280 | 1.120 | 0.516 |
| MIN | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.025 | 0.011 |

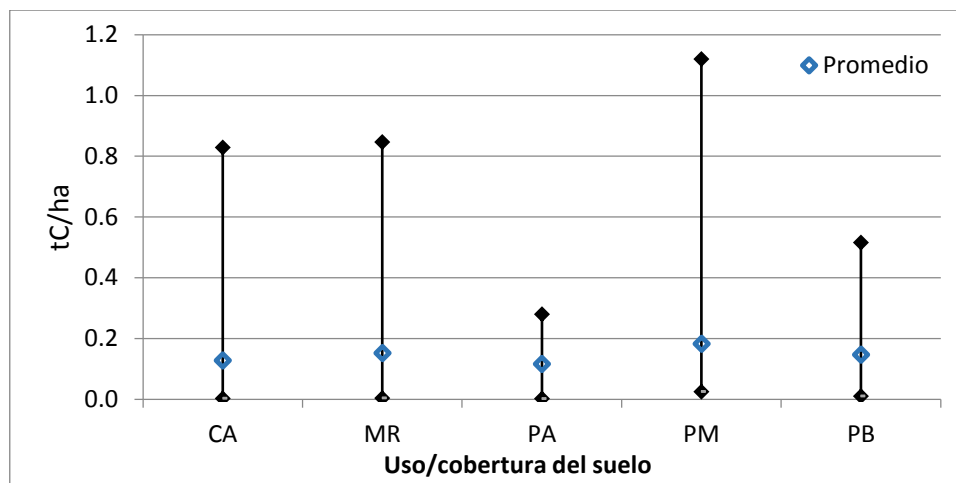


Figura 27: Promedio del carbono almacenado en la biomasa no arbórea.

En promedio la PM contiene una mayor cantidad de carbono almacenado en hierbas y otras plantas no arbóreas, esto se debe a los procesos de sucesión del bosque, donde la etapa inicial PB, contiene gran cantidad de especies de rápido crecimiento con alta densidad de individuos, para luego dar paso a la PM, donde se aprecia el resultado de la competencia por luz, y la muerte de gran cantidad de individuos, dejando claros naturales que dan paso al crecimiento de vegetación no arbórea. Luego se da el cierre del dosel, cubriéndose por más del 40% la entrada de luz, la generación de la sombra evita el crecimiento de vegetación no arbórea en las PA. En el caso de MR mostró un promedio alto de biomasa no arbórea, esto es debido a que existieron claros abiertos en las parcelas a consecuencia de árboles caídos. El cacao, mostró un bajo promedio de vegetación no arbórea, esto está directamente relacionado a las actividades culturales de los productores, muchos de ellos eliminan de forma mecánica o química las hierbas que compiten con los árboles de cacao por nutrientes, otros productores acumulan hojarasca a su alrededor para brindar sombra al suelo y evitar el crecimiento de esta vegetación.

e. Carbono en la necromasa

La Tabla 9 contiene el carbono estimado en el material muerto encontrado en las fincas de los productores para cada uso de la tierra, estos datos incluyen árboles caídos y tocones sobre el suelo. La variabilidad de los resultados para los cacaotales se debe a las prácticas de anillamiento de árboles, utilizado para eliminar árboles que no cuentan con la aptitud para brindar sombra o favorecer el cultivo de cacao. En algunas fincas la actividad ya se había realizado meses previo y en otras aún se encontraban árboles muertos sobre el suelo, o muertos en pie.

Tabla 9: Carbono almacenado en la necromasa.

| CARBONO TOTAL EN LA NECROMASA (tC/ha) | | | | | |
|--|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Código del productor | CA | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | 0.223 | 0.300 | | 0.065 | 1.844 |
| I00611A | 0.743 | 0.083 | 0.434 | | 1.516 |
| I00711A | 2.280 | 0.445 | | 0.116 | |
| I01711A | 1.874 | 0.356 | | | |
| I01911A | 0.132 | | 0.269 | | 2.333 |
| I02411A | 3.869 | | | 0.040 | |
| I02611A | 1.949 | 0.076 | 0.120 | 0.194 | 1.038 |
| I02711A | 0.882 | | 0.649 | | 0.043 |
| I03111A | 1.228 | 0.115 | | 0.221 | 0.304 |
| I03411A | 0.344 | 0.723 | | 1.378 | |
| I03611A | 0.553 | 0.435 | | | 1.848 |
| I03911A | 1.943 | | 0.360 | | 2.383 |
| I04411A | | 0.139 | | 0.369 | |
| I05811A | 3.359 | 0.181 | 0.355 | | 0.401 |
| I06111A | 2.272 | 0.127 | 0.048 | | 0.157 |
| I06611A | 1.102 | 0.239 | | | 0.168 |
| I06911A | 0.841 | 0.981 | 0.121 | | 0.151 |
| I08411A | 0.091 | 0.296 | 0.385 | | |
| I09211A | 5.778 | | 0.106 | | |
| I09411A | 0.576 | 0.206 | | | |
| I09711A | 1.814 | 0.282 | | | 0.139 |
| I09811A | 0.339 | | 0.272 | | |
| I10311A | 0.149 | 0.053 | 0.185 | 0.074 | 0.564 |
| I10711A | 5.448 | 0.888 | 0.182 | | |
| I11011A | 1.446 | | 0.265 | 0.078 | |
| I11511A | 0.719 | 0.441 | | 0.342 | 0.553 |
| I11911A | 5.295 | 0.210 | | 0.651 | |
| I12711A | 0.376 | | 0.392 | 0.094 | |
| I12811A | 4.335 | 0.891 | 0.196 | | |
| I13011A | 1.492 | | | 0.317 | |
| I14411A | 0.166 | 0.763 | | | |
| I14611A | 1.634 | 0.318 | 0.036 | | 0.828 |
| I15511A | 3.925 | 0.122 | | 0.277 | |
| I15811A | 1.144 | 0.611 | | 0.186 | 0.189 |
| I16511A | 2.111 | 0.463 | | | 0.751 |
| I17511A | 0.045 | | | | |
| I17911A | 2.644 | 0.229 | | 0.125 | 0.280 |
| I18011A | 0.041 | 1.419 | | 0.171 | 0.073 |
| I18511A | 1.336 | | 0.064 | | |
| I19511A | 1.635 | 0.279 | | | |
| I20011A | 5.265 | 0.301 | | 0.750 | |
| Total general | 71.400 | 11.969 | 4.439 | 5.449 | 15.562 |
| Promedio | 1.785 | 0.399 | 0.247 | 0.303 | 0.778 |
| MAX | 5.778 | 1.419 | 0.649 | 1.378 | 2.383 |
| MIN | 0.041 | 0.053 | 0.036 | 0.040 | 0.043 |

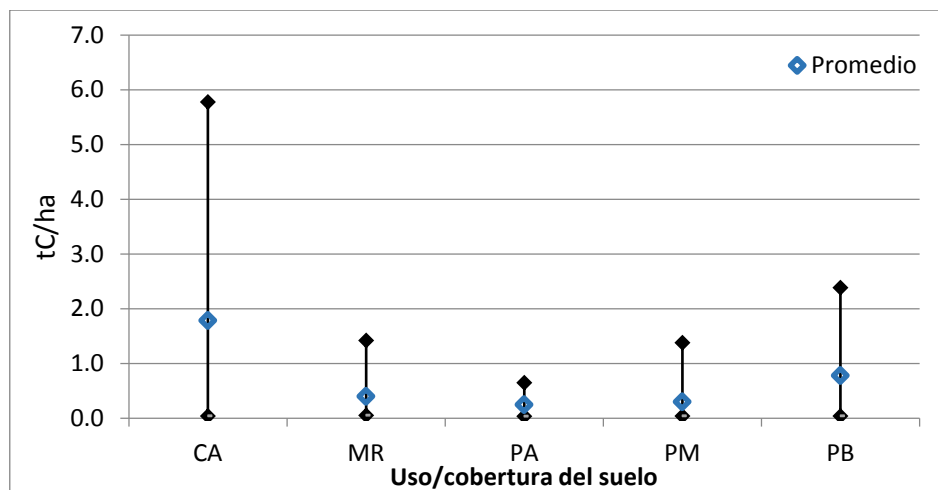


Figura 28: Promedio de carbono almacenado en la necromasa.

En promedio los cacaotales presentaron la mayor cantidad de materia muerta sobre el suelo, esto se debe a la gran cantidad de árboles que son eliminados para hacer espacio o evitar la competencia con el cultivo de cacao y solo una menor cantidad de ellos permanece favoreciendo al cultivo, como fijadores de nitrógeno o fuente de sombra. En el caso de las Purmas se marcó significativamente la sucesión del bosque donde los árboles van muriendo en la competencia por luz, hasta el cierre del dosel. Para el MR bastó con la caída de un solo árbol de gran tamaño para competir con la cantidad de necromasa encontrada en los otros usos de la tierra.

f. Carbono orgánico del suelo

La Tabla 10 contiene el total de carbono orgánico del suelo estimado a partir de los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, para cada una de las fincas de los productores en los distintos usos de la tierra estudiado. Solo se encontró una variabilidad significativa para el carbono orgánico del suelo (COS) en las Purmas Altas; la variabilidad en las Purmas se debe entender por el tipo de actividad productiva previa a la conversión en Purma, si la Purma proviene de un área con cultivos anuales o pasto es común encontrar poca cantidad de MO (raíces en descomposición en el suelo). También se debe tomar en cuenta el tiempo desde que inició la dinámica del uso de la tierra, si es la primera formación de Purma desde la conversión del bosque, se encontrará gran cantidad de MO en el suelo y por lo tanto gran cantidad de COS. Caso contrario si la Purma proviene de más de un ciclo de conversión de la tierra, la cantidad de MO será menor.

Tabla 10: Carbono orgánico almacenado en el suelo.

| CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (tC/m³/ha) | | | | | |
|---|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Código del productor | CA | MR | PA | PM | PB |
| I00211A | | | | | |
| I00611A | | | | | |
| I00711A | | | | | |
| I01711A | 1.971 | 5.672 | | | |
| I01911A | 7.407 | | | | |
| I02411A | 5.716 | | | | |
| I02611A | 3.895 | 6.903 | 5.712 | 7.927 | 3.457 |
| I02711A | 9.501 | | 5.650 | | 6.339 |
| I03111A | 5.338 | 6.322 | | 5.485 | 4.880 |
| I03411A | 5.782 | 6.861 | | 6.558 | 6.533 |
| I03611A | 5.672 | 6.041 | | | 8.501 |
| I03911A | 5.113 | | 6.975 | | |
| I04411A | 4.167 | 5.854 | | | |
| I05811A | 3.053 | 3.984 | 4.145 | | 3.821 |
| I06111A | 3.796 | 7.806 | 6.694 | | 6.751 |
| I06611A | 5.134 | 4.920 | | | |
| I06911A | 3.950 | 6.526 | 5.055 | | |
| I08411A | 2.941 | 5.662 | 5.312 | 8.960 | 5.958 |
| I09211A | | | | | |
| I09411A | | | | | |
| I09711A | | | | | |
| I09811A | | | | | |
| I10311A | 5.036 | | 19.008 | 5.424 | 5.521 |
| I10711A | 6.231 | 5.832 | | | |
| I11011A | 5.512 | | 7.066 | | |
| I11511A | 2.198 | 5.821 | | 3.541 | 7.682 |
| I11911A | 4.822 | 4.647 | | | |
| I12711A | | | | | |
| I12811A | 5.751 | 6.623 | | | |
| I13011A | 9.970 | | | | |
| I14411A | 5.871 | 4.608 | | | |
| I14611A | 5.897 | | | | 5.324 |
| I15511A | | | | | |
| I15811A | 5.832 | 4.989 | | 3.885 | |
| I16511A | | | | | |
| I17511A | 4.761 | | | | |
| I17911A | 3.384 | 6.678 | | 3.330 | 4.521 |
| I18011A | 5.152 | 4.703 | | 3.333 | |
| I18511A | 5.014 | | | | |
| I19511A | 2.782 | 3.434 | | | |
| I20011A | 6.745 | 5.679 | | 3.622 | |
| Total general | 158.395 | 119.566 | 65.617 | 52.065 | 69.289 |
| Promedio | 5.110 | 5.694 | 7.291 | 5.207 | 5.774 |
| MAX | 9.970 | 7.806 | 19.008 | 8.960 | 8.501 |
| MIN | 1.971 | 3.434 | 4.145 | 3.330 | 3.457 |

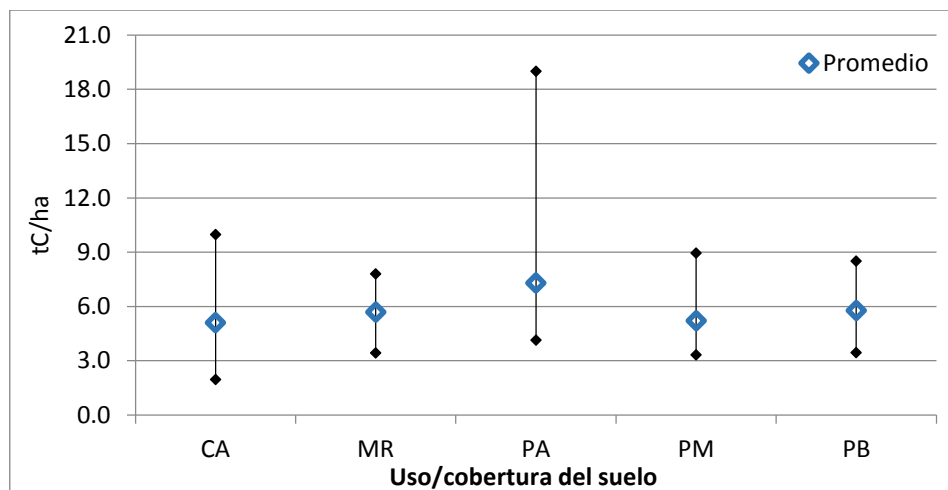


Figura 29: Promedio de Carbono Orgánico del suelo

En promedio las PA presentan mayor cantidad de COS, debido a que son las Purmas que menor cantidad de conversiones de la tierra ha tenido y mantienen gran cantidad de MO en el suelo. El MR presenta menor cantidad que la PA ya que las raíces de los árboles aún son biomasa subterránea y no forman parte de la MO del suelo. Los demás usos de la tierra presentan menor cantidad de COS debido a ser tierras manejadas en más de un ciclo productivo.

4.3.4. Carbono total por uso/cobertura de la tierra

La Figura 30 nos muestra el almacenamiento del carbono sobre la estructura de la tierra y su cobertura para los distintos usos estudiados. Se debe tener en cuenta que cada uso de la tierra tiene un potencial de almacenamiento de carbono ubicado en un lugar específico del sistema ecológico, por ejemplo: el carbono en la hojarasca y necromasa se presentan en mayor cantidad sobre los cacaotales (CA); el carbono en la biomasa aérea y en raíces y ramas sobre el suelo, están en mayor cantidad en el Monte Real (MR); la Purma Media (PM), presenta la mayor cantidad de carbono en la biomasa no arbórea y la Purma Baja (PB) es el segundo contenedor de carbono en la biomasa no arbórea y de ramas y raíces sobre el suelo. Los resultados siguen la tendencia registrada por Callo-Concha *et al.* (2001) y Lapeyre *et al.* (2004) quienes registraron en los bosques secundarios aproximadamente el doble de carbono capturado en las prácticas agroforestales y los barbechos, con valores cercanos entre estos últimos; sin embargo, sólo el primer estudio considera las edades de los barbechos, tomando aquellos cercanos a 12 años, por lo tanto, los datos corresponden a las Purmas alta. La cantidad de carbono capturado por los cacaotales supera a los registros obtenidos por Barbarán (1988) y Pal *et al.* (1999), valores

entre 25 a 30 tC/ha para sistemas agroforestales con cacao; Además, el primero de ellos registró 159.88 tC/ha para bosques secundarios de 15 años, valores muy lejanos a los obtenidos para Monte Real en el presente estudio, posiblemente influenciado por el nivel de degradación del bosque en su intervención previa, variables no analizadas en este estudio.

| CARBONO TOTAL PROMEDIO POR USO/COBERTURA DE LA TIERRA (tC/ha) | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | CA | MR | PA | PM | PB |
| Carbon en B. aérea | 21.280 | 66.143 | 31.460 | 18.152 | 4.007 |
| Carbono en B. No arbórea | 0.128 | 0.152 | 0.116 | 0.182 | 0.147 |
| Carbono Orgánico del suelo | 5.110 | 5.694 | 7.291 | 5.207 | 5.774 |
| Carbono en la Hojarasca | 4.243 | 3.623 | 3.072 | 2.482 | 2.090 |
| Carbono en la Necromasa | 1.785 | 0.399 | 0.247 | 0.303 | 0.778 |
| Carbono en Ramas y Raíces sobre el suelo | 1.555 | 3.726 | 2.648 | 1.995 | 3.386 |
| Carbono Total (tC/ha) | 34.099 | 79.735 | 44.833 | 28.321 | 16.182 |

Figura 30: Carbono promedio parcial y total por uso de la tierra

La dinámica del cambio de uso de la tierra dentro de un enfoque de paisaje, donde el mosaico de coberturas incluye el bosque, la tierra agrícola productiva y la tierra en descanso o Purmas. Se debería considerar una finca como un sistema productivo que involucra a la dinámica del uso de la tierra como un manejo sostenible de los recursos, donde las necesidades del productor son complementadas por diferentes usos rotativos de la tierra y en un espacio delimitado bien manejado. Además, donde la pérdida de carbono ocasionada por la conversión del bosque es compensada en un 38,56 por ciento en un sistema productivo que cuenta con cacaotales y Purmas Baja, Media y Alta. Es decir, si se convierte 4 ha de bosque, para dar paso a la formación de estos cuatro usos de la tierra (uno por hectárea), se recuperaría el 38,56 por ciento del carbono perdido por la conversión inicial. Lo cual concuerda con Callo-Concha *et al.* (2001) quienes afirmaban que la relación sistema agroforestal – barbechos es de 5 a 11 (respectivamente). Sin embargo, en su estudio encontró que de un bosque primario a agroforestería con café se recupera el 20% del carbono capturado y en el presente estudio se obtuvo un 38.56% de un bosque secundario a agroforestería con cacao (ambos estudios realizados en los bosques tropicales de Ucayali).

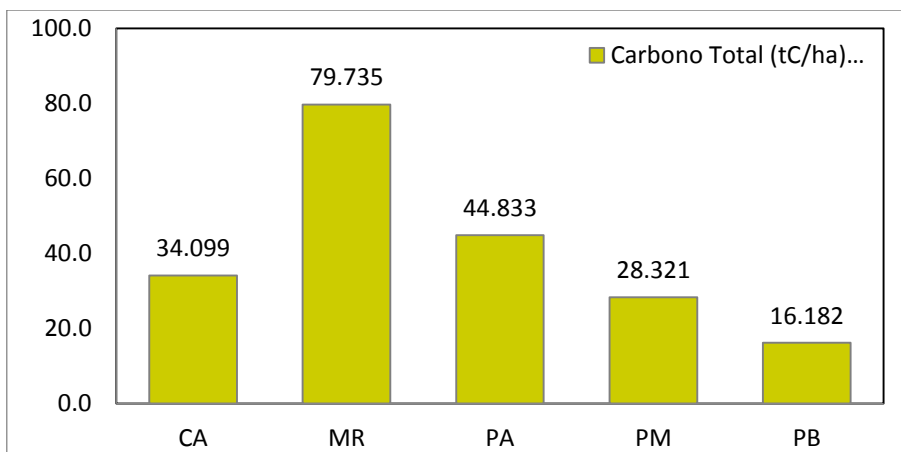


Figura 31: Carbono total promedio por uso de la tierra

Los valores de carbono compensados en las fincas de los productores podrían ser mayores dependiendo de la edad de sus Purmas. Los resultados obtenidos muestran que la cantidad de carbono almacenado en las Purmas es directamente proporcional a la edad de la Purma, es decir, que el contenido de carbono de la Purma será mayor según los años de descanso de la tierra. El carbono total almacenado en los cacaotales (CA) es mayor que el encontrado en la Purma Media; sin embargo, estos valores son menores al encontrado en las Purmas Alta, las cuales son tierras de 8 a 15 años en descanso (Figura 31).

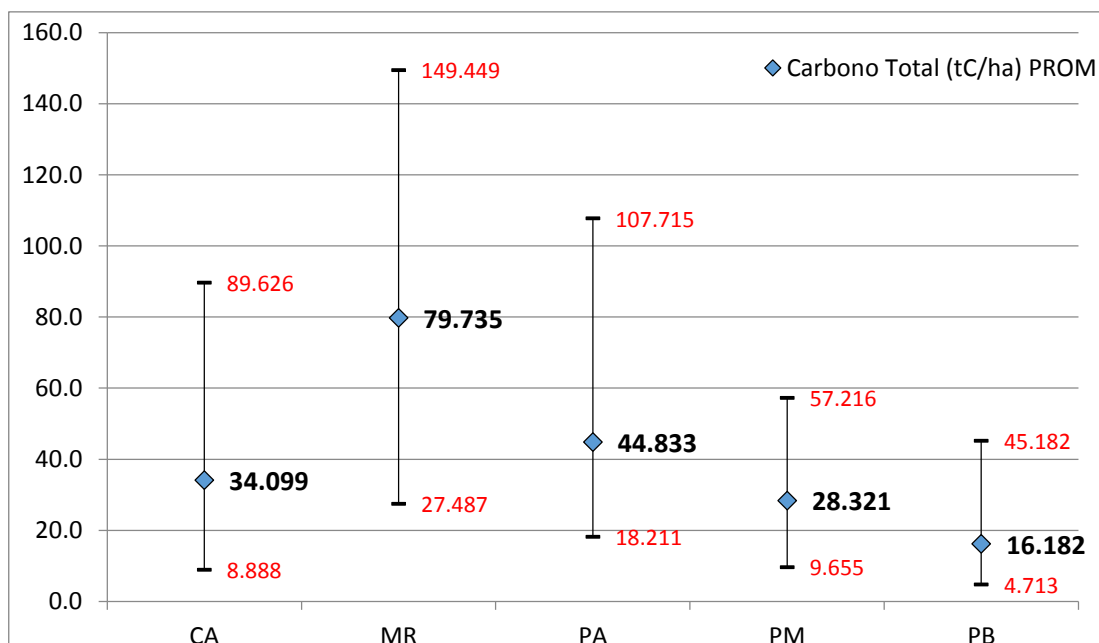


Figura 32: Carbono total y valores máximos y mínimos obtenidos

La variabilidad del carbono total (Figura 32) se debe a la variabilidad de los datos obtenidos por cada uno de los componentes evaluados, donde cada uso de la tierra presentó distinta variabilidad en el carbono del suelo, aéreo y subterráneo.

A partir de los registros de Barbarán (1988) y Lapeyre *et al.* (2004) del carbono capturado por los sistemas agrícolas tradicionales y los pastos en los bosques tropicales se obtuvo el siguiente balance de la ganancia o pérdida de carbono en la dinámica del cambio de uso de la tierra (Figura 33). Donde se puede apreciar que el cambio de uso de la tierra de purma a cacaotales, implica una ganancia neta aproximada de 4.31 tC/ha y si la procedencia es de cultivos agrícolas tendremos una ganancia de 29.69 tC/ha, valor que supera al promedio obtenido para las purmas. Sin embargo, la pérdida de carbono para cualquier transformación que implique el desbosque del Monte real significa pérdidas superiores a cualquier otra transición del uso de la tierra, con valores de 45.64; 75.3 y 76.93 tC/ha cuando se transforma en cacaotales, cultivos agrícolas y pastos respectivamente. Los valores de carbono que se encontraron para la purma concuerdan con lo afirmado por Schroeder (1994); Barbarán (1998); Palm *et al.* (1999) y Dixon *et al.* (1994), sobre el enorme potencial que tienen para recuperar el carbono liberado durante las prácticas de roza y quema del bosque secundario y primario, potencial que comparten los cacaotales con valores cercanos e incluso superiores a las purmas.

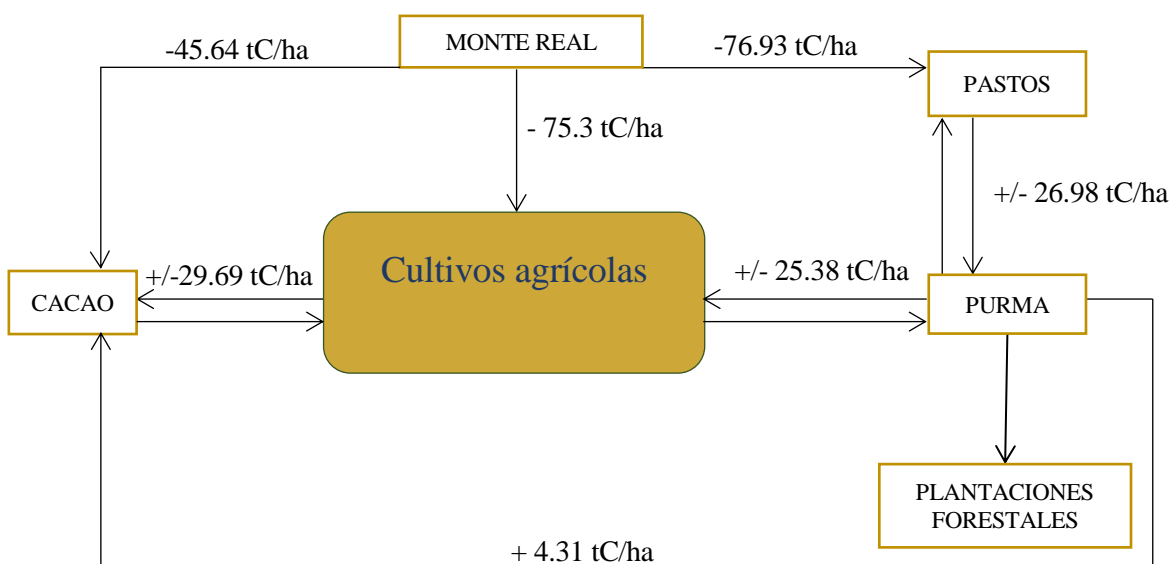


Figura 33: Carbono registrado en la dinámica del cambio de uso de la tierra

4.3.5. Resultados de la diversidad florística en los usos de la tierra

a. Composición florística

La Tabla 1 presenta los resultados de los valores de la composición florística para cada uso de la tierra, expresado por la cantidad en género, especie, familia e individuos encontrados y establecidos en las sub-parcelas UM1 y UM2.

Tabla 11: Composición florística para cada uso de la tierra

| COMPOSICIÓN FLORÍSTICA | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|
| Uso | Unidades de muestreo | Familia | Género | Especie | Individuos |
| CA | 41 | 19 | 22 | 28 | 1885 |
| MR | 30 | 47 | 106 | 194 | 962 |
| PA | 26 | 37 | 63 | 94 | 791 |
| PM | 29 | 34 | 53 | 75 | 974 |
| PB | 28 | 24 | 32 | 43 | 685 |

Cacaotales (CA): En los cacaotales es de esperar encontrar el porcentaje mayor de las especies como *Theobroma sp* (90 por ciento), por lo tanto, el análisis de diversidad se hizo en base al 10 por ciento restante. De los cuales la especie de más abundante fue el Plátano (*Musa sp*) con un 36 por ciento; seguido de la Guaba (*Inga sp*), Capirona (*Calycophyllum sp*), Ocuera (*Vernonia patens*) y Bolaina (*Guazuma sp*) con 18, 11, 7 y 6 por ciento respectivamente. Todas son especies con aptitud para el manejo en sistemas agroforestales en asociación con el cacao.

Monte Real (MR): Se registraron 962 individuos en 30 parcelas de muestreo, es el uso de la tierra que agrupa a la mayor diversidad en familias (47), géneros (106) y especies (194). Se registraron 142 de especies no identificadas (15 por ciento) y distintas entre ellas. De las restantes las más abundantes fueron la Canilla de vieja (*Rinorea sp*), Shimbillo (*Inga sp*), Chemicua (*Pseudolmedia sp*), Caimitillo (Sapotaceae) y Huacamayo caspi (Rubiaceae) con 4, 3, 2, 2 y 2 por ciento respectivamente.

Purma Alta (PA): Se registraron 791 individuos en 26 parcelas de muestreo de los cuales el más abundante fue el Cetico (*Cecropia sp*) con el 20 por ciento de individuos con respecto al total; seguido por la Guaba (*Inga sp*), Anonilla (*Annona sp*), Pichirina (*Vismia sp*) y Peine de mono (*Apeiba sp*) con 5, 4, 4, 4 por ciento respectivamente. Por la abundancia de árboles de Cetico encontrado, se puede denominar a las Purmas Altas del distrito de Irazola como “Ceticales” antes de alcanzar la categoría de Monte Real o bosque secundario inicial.

Purma Media (PM): Se encontraron dos especies con abundancia significativa, el Cetico (*Cecropia sp*) con 22 por ciento de individuos con respecto al total y el Atadijo (*Trema sp*) con 12 por ciento de individuos; seguidos en menor abundancia por Topa (*Ochroma pyramidale*), Retama (Fabaceae) y Mashusillo (*Bahuinia sp*) con 9, 5 y 4 por ciento respectivamente. Por la abundancia de árboles de Cetico encontrados, se puede denominar a las Purmas Medias del distrito de Irazola como “Ceticales”

Purma Baja (PB): En la etapa inicial de formación de las Purmas se registraron 43 distintas especies de las cuales el Cetico (*Cecropia sp*) y el Atadijo (*Trema sp*) abarcan más del 50 por ciento del total (26 y 25 por ciento respectivamente); seguidos por la Ocuera (*Vernonia patens*), Peine de mono (*Apeiba sp*) y Topa (*Ochroma pyramidale*) con 10, 8 y 5 por ciento respectivamente. En la etapa inicial de las Purmas es común encontrar poca diversidad de especies, además de tener abundancia y dominancia de un grupo muy pequeño de este total.

El comportamiento de la diversidad florística de las Purmas en el distrito de Irazola, en su etapa inicial muestran la presencia de pocas especies con un grupo abundante liderado por el Cetico (*Cecropia sp*) y el Atadijo (*Trema sp*), conforme se da el desarrollo de las Purmas se puede apreciar la disminución del Atadijo, pasando de 25 a 12 y finalmente a menos del 2 por ciento en las Purmas Altas. Esta disminución también se puede apreciar en el Cetico, pero en menor proporción, esta especie aún se mantiene en las Purmas Altas; sin embargo, no es significativo en el Monte Real. Esta dinámica muestra con claridad el comportamiento sucesional del bosque, donde las especies pioneras heliófilas de rápido crecimiento se establecen en gran medida, para luego dar lugar a especies que crecen bajo un dosel cerrado y en la etapa de formación de bosque secundario inicial.

b. Curva de acumulación de especies

La Figura 34 muestra las cuatro curvas de acumulación de especies correspondiente a las Purmas y el Monte Real, estas curvas muestran la capacidad y el potencial que tiene cada uso de la tierra para la acumulación de especies. Se observa que mientras más joven el uso de la tierra, la curva tiene a un comportamiento asintótico; La curva de la Purma Baja tiende a ser estable, por lo tanto, se puede esperar no tener un aumento significativo de la diversidad de especies si se realiza un muestreo más amplio. Sin embargo, a partir de la Purma Alta la curva no es asintótica y se requiere una mayor área de muestreo para poder definir el punto de decrecimiento de la curva y determinar su potencial de acumulación de especies. En el caso

del Monte Real, el área extra que se requiere muestrear para determinar el potencial de acumulación de especies es muy superior a las 6 ha muestreadas en el estudio.

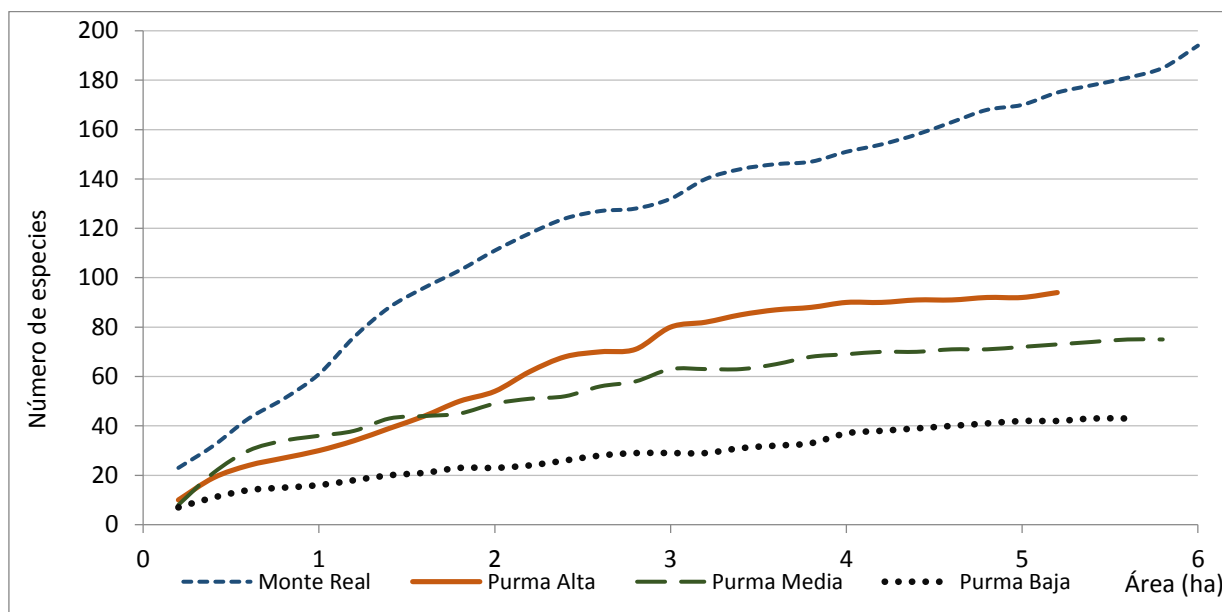


Figura 34: Curva de acumulación de especies para las Purmas y Monte Real.

El potencial de acumulación de especies tiene una relación directa al grado de sucesión ecológica en el que se encuentra la cobertura de la tierra. Mientras mayor es la edad y desarrollo de la Purma, mayor será la diversidad florística en su estructura. La forma asintótica de las curvas de Purma baja y Purma media concuerda con Cayuela *et al.* (2006) quien afirma que las Purmas de la misma edad contienen similar riqueza de especies. Sin embargo, la Purma Alta muestra un comportamiento contrario, ya que el aumento de algunas UM expresaron una pendiente alta positiva en la gráfica. Comportamiento que mantiene el Monte Real a lo largo de su curva. Asimismo, Cayuela *et al.* (2006), Blanco y Leyva (2010) y Villareal *et al.* (2003) y el presente estudio concuerdan en que la variabilidad de la composición florística está en función a la edad de los barbechos, es decir al tiempo de descanso que se le otorgue a la tierra. A mayor tiempo de reposo de la tierra, la curva de acumulación de especies mostrará un comportamiento cada vez menos asintótico.

Tabla 12: Cantidad de especies acumuladas por Unidad de Muestreo

| Área acumulada (ha) | USO DE LA TIERRA | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Monte Real | Purma Alta | Purma Media | Purma Baja |
| 0.2 | 23 | 10 | 8 | 7 |
| 0.4 | 32 | 19 | 21 | 11 |
| 0.6 | 43 | 24 | 30 | 14 |
| 0.8 | 51 | 27 | 34 | 15 |
| 1 | 61 | 30 | 36 | 16 |
| 1.2 | 76 | 34 | 38 | 18 |
| 1.4 | 88 | 39 | 43 | 20 |
| 1.6 | 96 | 44 | 44 | 21 |
| 1.8 | 103 | 50 | 45 | 23 |
| 2 | 111 | 54 | 49 | 23 |
| 2.2 | 118 | 62 | 51 | 24 |
| 2.4 | 124 | 68 | 52 | 26 |
| 2.6 | 127 | 70 | 56 | 28 |
| 2.8 | 128 | 71 | 58 | 29 |
| 3 | 132 | 80 | 63 | 29 |
| 3.2 | 140 | 82 | 63 | 29 |
| 3.4 | 144 | 85 | 63 | 31 |
| 3.6 | 146 | 87 | 65 | 32 |
| 3.8 | 147 | 88 | 68 | 33 |
| 4 | 151 | 90 | 69 | 37 |
| 4.2 | 154 | 90 | 70 | 38 |
| 4.4 | 158 | 91 | 70 | 39 |
| 4.6 | 163 | 91 | 71 | 40 |
| 4.8 | 168 | 92 | 71 | 41 |
| 5 | 170 | 92 | 72 | 42 |
| 5.2 | 175 | 94 | 73 | 42 |
| 5.4 | 178 | | 74 | 43 |
| 5.6 | 181 | | 75 | 43 |
| 5.8 | 185 | | 75 | |
| 6 | 194 | | | |

4.3.6. Evaluación de la relación entre la captura de carbono y diversidad florística

Las proporciones entre la captura de carbono y la diversidad florística en los usos de la tierra tienen la misma tendencia creciente con las Purmas y el Monte Real como se muestra en la Figura 35. En el caso de los cacaotales, como era de esperarse es el uso de la tierra que menor diversidad florística mostró; a pesar de eso, es el tercer uso de la tierra con mayor potencial de captura de carbono.

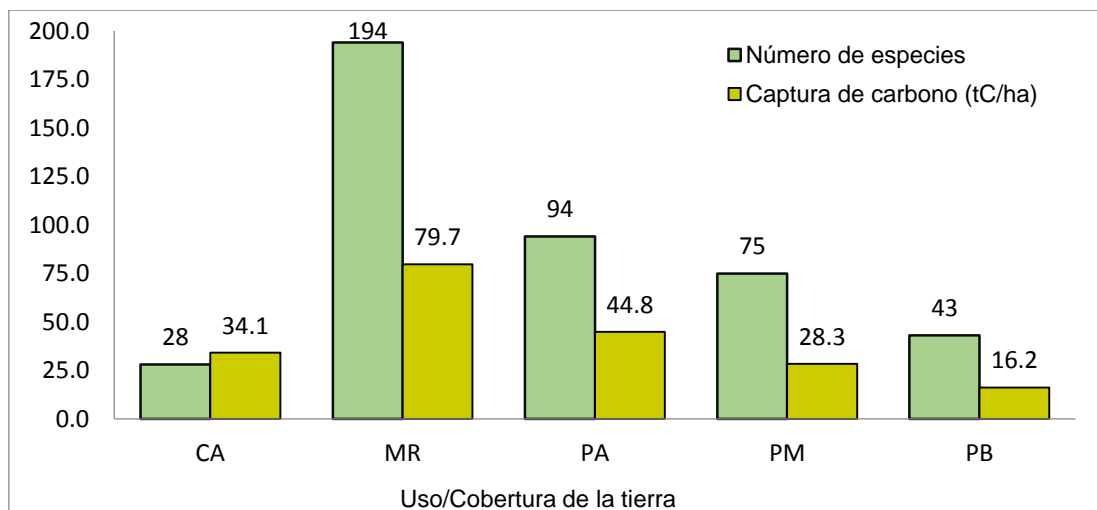


Figura 35: Diversidad florística y la captura de carbono en los usos de la tierra

4.3.7. Análisis de significancia de la diversidad florística en la captura de carbono

Los resultados muestran que a un nivel de significancia de 0.05 se demuestra suficiente evidencia estadística para asegurar que la captura de carbono en la PA, PM y PB poseen una dependencia de la variable Diversidad florística. Sin embargo, para el CA existe suficiente evidencia estadística para asegurar que no existe dependencia de las variables, por lo tanto, la diversidad de especies no ocasiona cambios en este uso de la tierra, esto se puede explicar por la poca cantidad de especies diferentes al cacao que se encuentran en estas parcelas. En el caso del MR existe una débil influencia de la diversidad florística sobre la captura de carbono.

Tabla 13: Resultados del análisis de regresión

| <i>Análisis de regresión: $f() = \text{Captura de Carbono}(tC/ha) \sim \text{Diversidad florística}$</i> | | | | | | |
|---|---------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <i>Unidades de Muestra (UM)</i> | <i>Variable respuesta</i> | <i>Variable predictora</i> | <i>P-valor</i> | <i>R-cuadrado</i> | <i>R-cuadrado ajustado</i> | <i>Nivel de significancia</i> |
| CA | Captura de Carbono | Diversidad florística | 0.8016 | 0.00164 | -0.02396 | |
| MR | Captura de Carbono | Diversidad florística | 0.02786 | 0.1668 | 0.1359 | * |
| PA | Captura de Carbono | Diversidad florística | 2.37E-06 | 0.7394 | 0.7241 | *** |
| PM | Captura de Carbono | Diversidad florística | 6.86E-07 | 0.6814 | 0.6669 | *** |
| PB | Captura de Carbono | Diversidad florística | 0.002578 | 0.4228 | 0.3889 | ** |
| Todas | Captura de Carbono | Diversidad florística | 2.20E-16 | 0.5802 | 0.577 | *** |

“ ” No tiene significancia: no influye sobre la variables respuesta

“ * ” Significancia baja: su influencia sobre la variable respuesta es muy poca

“ ** ” Significancia media: su influencia sobre la variables respuesta es buena

“ *** ” Significancia alta: su influencia sobre la variables respuesta es muy alta

En general, si tomamos el mosaico de usos de la tierra y a pesar de la nula significancia en los cacaotales; la diversidad florística tiene una influencia muy fuerte sobre la cantidad de carbono

capturado. Las unidades de muestreo presentaron una captura de carbono proporcional a su diversidad florística, independiente del uso de la tierra evaluado.

4.3.8. Ubicación y análisis de las unidades de manejo (UM) en el espacio

La distribución espacial de las parcelas nos indica que uno de los principales motivos del establecimiento y cambio de uso de la tierra es la cercanía a las vías de acceso y a los principales cursos de agua. También, se puede apreciar en la Figura 36 que las fincas de los productores no se encuentran cerca al área poblada del caserío; esta distribución se debe a la búsqueda de tierras fértiles para la instalación de los cacaotales, estas tierras ideales son asociadas al Monte real o bosque remanente que forma parte en la estructura de una finca del productor de cacao.

Asimismo, se puede ver el mapa de pérdida de bosque al año 2016, donde se aprecia de forma clara, como las fincas forman parte de esta pérdida de bosque identificado por el MINAM desde el 2001. Sin embargo, entre los productores estudiados también se encuentran aquellos que estuvieron establecidos antes del 2001 y ningún productor se encuentre en zonas identificadas como bosque, a pesar de que las fincas si cuentan con una componente de MR en su estructura.

Se debe considerar a estos productores como principales actores para la recuperación de los servicios ecosistémicos perdido en el proceso de conversión del bosque. En la Figura 37 se puede identificar aquellos productores que se encuentran dentro de las áreas de recuperación y de tratamiento especial según la zonificación forestal del gobierno regional de Ucayali (GOREU). Estas áreas según el Reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, son zonas de promoción para la instalación de sistemas agroforestales con fines de producción forestal y recuperación. Así mismo, el artículo 63 del reglamento, describe los sistemas agroforestales como una clase de uso de la tierra donde el bosque natural y bosque secundario se consideran parte de la unidad de manejo de los sistemas agroforestales. En base a la ley vigente, se debe considerar las fincas de los productores de cacao por su ubicación espacial y la estructura de sus sistemas productivos, como áreas potenciales de restauración mediante la mejora de sus sistemas productivos y promoviendo la agroforestería o sistema rotativos de manejo de Purmas y evitar el avance de las fronteras agrícolas no sostenibles.

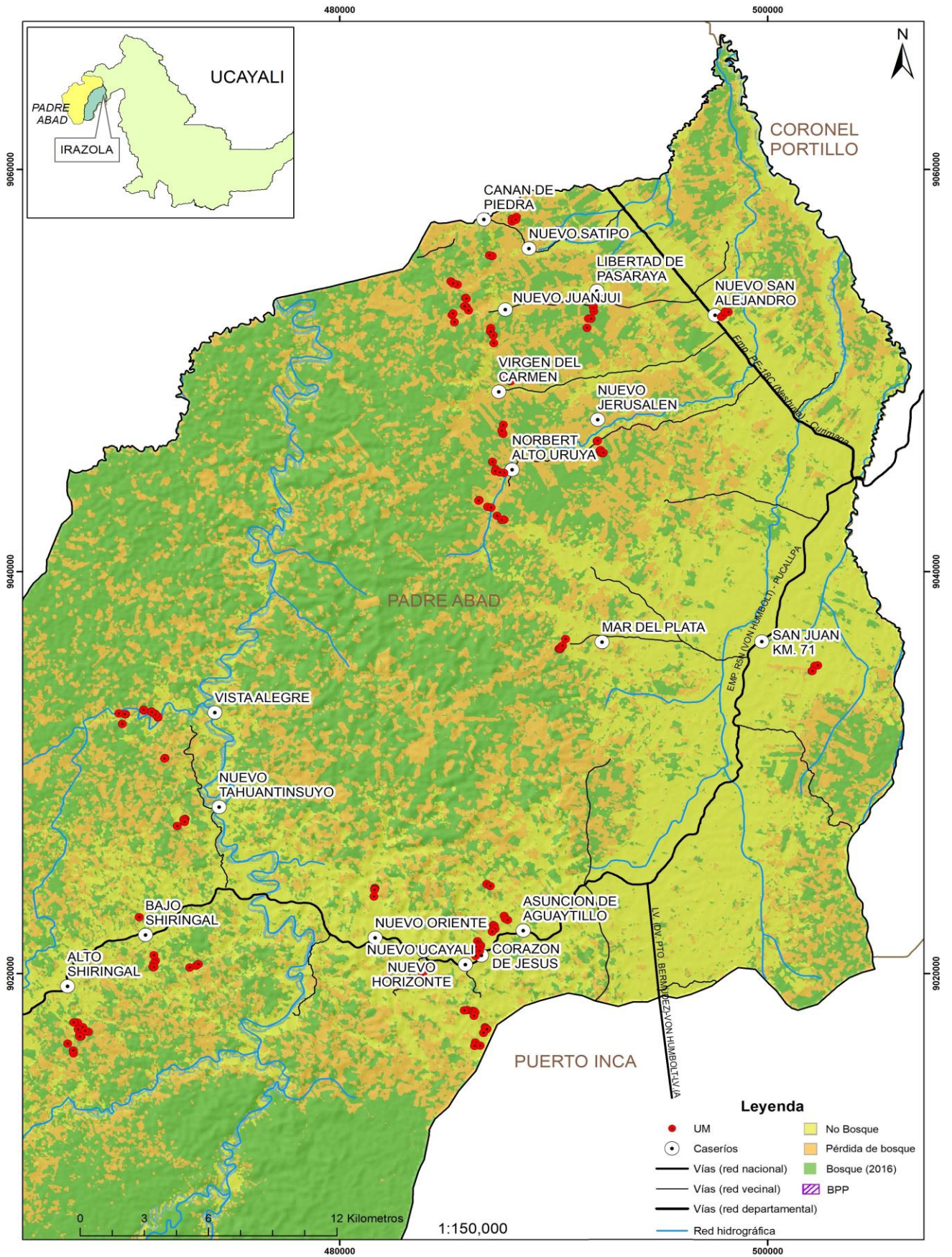


Figura 36: Caserío y UM en el mapa de pérdida de bosque (MINAM 2016)

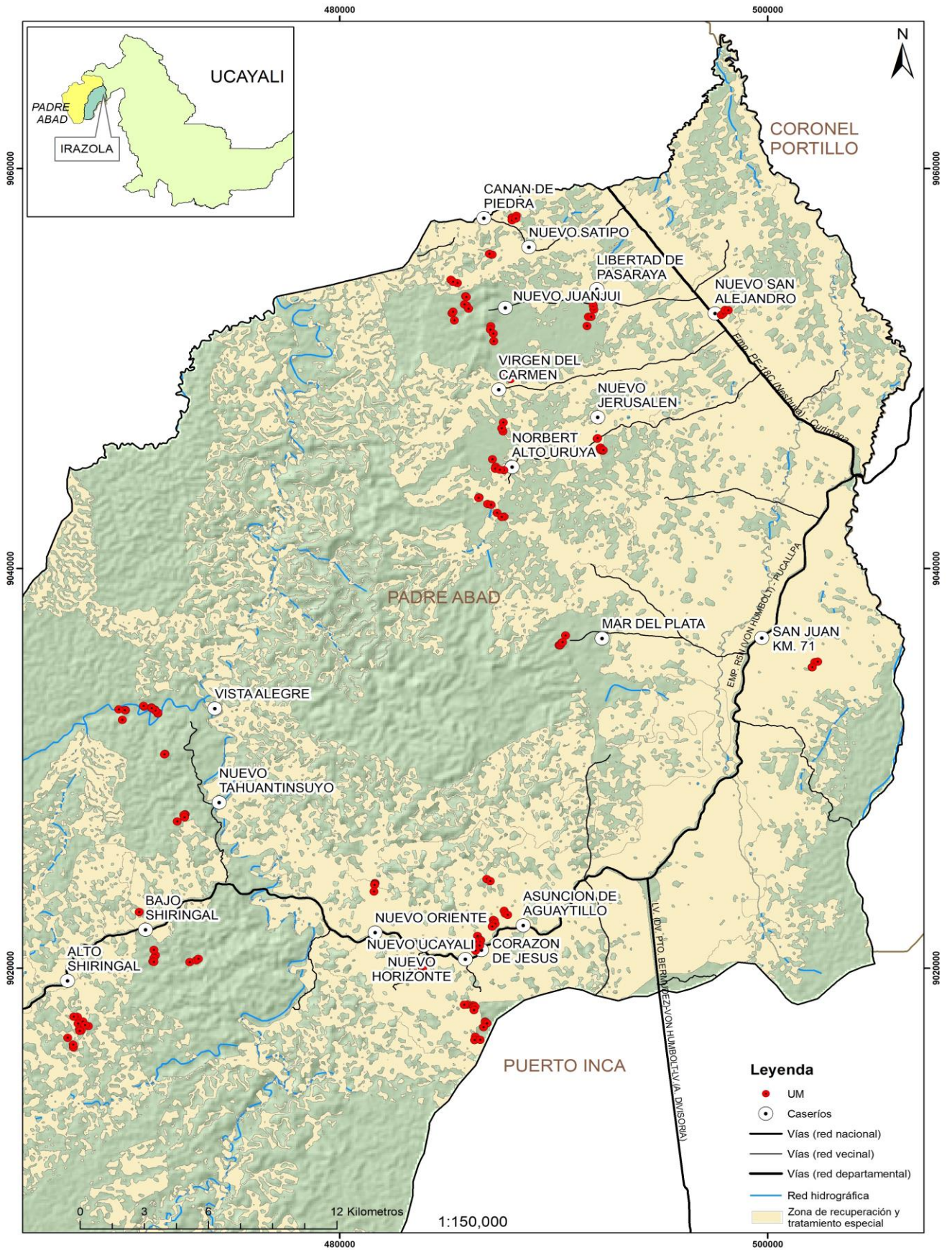


Figura 37: Caseríos y UM en zonas de recuperación y tratamiento especial (ZF)

V. CONCLUSIONES

- 1 El carbono total perdido en la conversión de bosques en áreas agrícolas en Irazola, es compensado por lo menos en 38.56 por ciento dentro del sistema rotativo de cambio de uso de la tierra con Purmas, cultivos agrícolas y cacao.
- 2 El promedio de carbono capturado por hectárea es de 79.7 tC/ha (Monte real), 44.8 tC/ha (Purma Alta), 34.1 tC/ha (Cacaotales), 28.3 tC/ha (Purma Media) y 16.2 tC/ha (Purma Baja).
- 3 Los cacaotales de 7 años en promedio, tienen mayor capacidad de captura de carbono (por hectárea) que las Purmas de 5 a 8 años de crecimiento.
- 4 Comparando la captura de carbono del Monte Real con cada uso de la tierra tendremos que el Monte Real es 1.8 veces una Purma Alta; 2.8 veces una Purma Media; 4.9 veces una Purma Baja y 2.3 veces un Cacaotal.
- 5 El cambio de uso de la tierra en las fincas de los productores de cacao del distrito de Irazola tienen dos comportamientos: a) ciclos permanentes donde las áreas agrícolas son abandonadas para la formación de Purmas, para luego ser convertidas una vez más en áreas agrícolas; b) el segundo, son las transiciones de cultivos agrícolas o Purmas hacia sistemas agroforestales o cacaotales permanentes.
- 6 En todas las Purmas y a diferentes edades se encontró al Cetico (*Cecropia sp*) como la principal especie en la estructura florística, por lo tanto, podríamos denominar a las Purmas del distrito de Irazola como “Ceticales”.
- 7 El potencial de acumulación de especies está directamente relacionado al grado de sucesión del bosque y las Purmas; donde mayor sea la edad de desarrollo de la cobertura, mayor será la diversidad florística en su estructura.

- 8 Se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que, en el mosaico de usos de la tierra, la diversidad florística tiene una influencia significativa en la cantidad de carbono capturado.
- 9 Los productores de cacao y sus sistemas productivos que incluyen el manejo rotativo de las Purmas, son un componente potencial para los proyectos de remediación de las áreas degradadas en la Amazonía y frenar el avance de las fronteras agrícolas no sostenibles.

VI. RECOMENDACIONES

- 1 El presente estudio está basado en una muestra representativa de los productores de cacao del distrito de Irazola y muestra las características biofísicas y antropogénicas de este grupo. Sin embargo, existe otros grupos de productores no relacionados a la producción de cacao, que deben ser considerados en los proyectos de desarrollo alternativo para evitar el aumento de la pérdida de bosque. Por lo tanto, se requiere de mayores estudios y muestras más heterogéneas para poder establecer planes regionales, provinciales o distritales de desarrollo sostenible.
- 2 La dinámica del uso de la tierra y las actividades antropogénicas están influenciados por factores externos que pueden influenciar en gran medida las decisiones o el arreglo espacial de los productores. Como ocurrió con el cultivo de cacao en Irazola, el cual fue introducido por los proyectos alternativos de erradicación de los cultivos de coca, llevado a cabo por PDA y DEVIDA. Es por ello, que se debe considerar que los datos presentados en este estudio son completamente dinámicos y sujetos a cambios por factores externos o proyectos futuros.
- 3 Una correcta planificación y un estudio base, contribuyeron a la ejecución de la etapa de campo de forma exitosa, pudiendo obtener la menor cantidad de errores en la colecta de información y evitando sesgos en los resultados obtenidos.
- 4 La cercanía a los productores y brindarles la confianza desde la primera visita contribuye a una etapa de levantamiento de información confiable y segura.
- 5 Se debe priorizar la seguridad de los brigadistas antes que la obtención de la información en campo. Se debe tener en cuenta que la Amazonía peruana cuenta con zonas en posesión de cocaleros, que no están dispuestos a tener “extraños” en sus fincas, se debe evitar aquellas áreas en la selección de las áreas a intervenir, en la etapa de planificación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbarán, GJ. 1998. Determinación de biomasa y carbon en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Ucayali, Perú. 54 p.
- Barragán, D. 2008. Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de cacao y café. Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Ambientales Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 100 p.
- Berges, SA; Schulte Moore, LA; Isenhardt, TM; Schultz, RC. 2010. Bird species diversity in riparian buffers, row crop fields, and grazed pasture within agriculturally dominated watersheds. *Agrofor Syst* 79: 97-110.
- Bernard, F; Minang, P.A; van Noordwijk, M; Freeman, O.E; Duguma, L.A. 2013. Towards a landscape approach for reducing emissions: substantive report of Reducing Emissions from All Land Uses (REALU) project. Nairobi, Kenya. World Agroforestry Centre – ICRAF. 119p.
- Bhagwat, SA; Willis, KJ; Birks, HJB; & Whittaker, RJ (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity?. *Trends in ecology & evolution*, 23(5), 261-267.
- Blanco, Y; Leyva, A. 2010. Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays*, l.) precedido de un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* l.). *Cultivos tropicales*, 31(2): 12 p.
- Brakas, S.G; Aune, J.B. 2011. Biomass and Carbon Accumulation in Land Use Systems of Claveria, the Philippines. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges*. Springer, 163-175.
- Brandle, JR; Hodges, L; Zhou, X. 2004. Windbreak in sustainable agriculture. *Agrofor Syst* 61: 65-78.

- Brown, S; Iverson, LR; Prasad, A; Liu, D. 1993. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian Forests. *Geocarto International* 4: 45-59.
- Callo-Concha, D; Krishnamurthy, L; Alegre, J. 2001. Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAFs y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. In *Simposio Nacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, Valdivia-Chile. 18-20.
- Cassman, K; Wood, S; Choo, PS; Dixon, J; Gaskell, J; Khan, S; Lal, R; Pretty, J; Primavera, J; Ramankutty, N; Viglizzo, E; Kadungure, S; Kanbar, N; Porter, S; Tharme, R. 2005. Cultivated systems. In: Scholer R, Rashid H *Millennium Ecosystem Assessment: Working group on conditions and trends*. Island Press, Washington D.C. 745-794.
- Cayuela, ML; Sánchez-Monedero, MA; Roig, A. 2006. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. *Process Biochemistry*, 41(3): 616-623.
- Chaturveni, A. 1994. Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. *Environmental Monitoring and Assessment*. Springer, 316-327.
- Coomes, OT; Grimard, F; Burt, GJ. (2000). Tropical forests and shifting cultivation: secondary forest fallow dynamics among traditional farmers of the Peruvian Amazon. *Ecological economics*, 32(1): 109-124.
- De Oliveira, AA; Nelson, BW. 2001. Floristic relationships of terra firme forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 36: 53-61.
- Dehuevels, O; Robiglio V. 2015. Estudio sobre biodiversidad y estructura de la vegetación, calidad de suelos y prácticas campesinas en cacaotales y otros usos del suelos en Irazola, Guia general del estudio. 12 p.
- Detwiler RP. 1986. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soil. *Biogeochemistry* 2: 67-93.
- Di Gregorio, A. 2016. Land Cover Classification System, Classification concepts. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma 2016. 226 p.
- _____; Jansen, L. 2005. Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra. Conceptos de Clasificación y manual para el usuario: Versión 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 226 p.

- Díaz-Rossello, R; Durán, H. 2011. Secuestro de carbono en suelos de sistemas agrícola-lecheros mixtos en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2): 109-119.
- Dixon, DA; Feller, D; Sandrone, G. 1999. Heats of formation of simple perfluorinated carbon compounds. *The Journal of Physical Chemistry A*, 103(24): 744-751.
- Dourojeanni, M.J. 1981. Lineamientos generales para el desarrollo rural del área de influencia de la carretera Iquitos Nauta. In *Evaluación y lineamientos de manejo de suelos y bosque para el desarrollo agrario del área d influencia de la carretera Iquitos – Nauta*. DGFF/ORDELOR pp. 283-231.
- Feller C. 1993. Organic unputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-activity clay soils in tropical zones. In: Mulongoy K. and Merckx R. (eds), *Soil Organic Matter Dynamics and sustainability og Tropical Agriculture*. IITA/KU Leuven, John Wiley, New York, USA, 77-88.
- Fox, J; Rindfuss, RR; Walsh, SJ; Mishra, V. 2003. *People and the environment: Approaches for linking household and community surveys to remote sensing and GIS*. Kluwer academic, Dordrecht Boston London. 319 p.
- Gallagher, RS; Fernandes, ECM; McCallie, E. 1999. Weed management through short-term improved fallows in tropical agroecosystems. *Agroforestry Systems*, 47(1-3), 197-221
- Geist, H; Lambin, E; Palm, C; Tomich, T. 2008. Agricultural transitions at dryland and tropical forest margins: Actors, scales and trade-offs. In: Brouwer F, MacCarl BA (eds) *Agriculture and climate beyond*. Spinger, Dortrecht: 56-73.
- Guo, LB; Gifford, RM. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, 8(4): 345-360.
- Hairiah, K; Dewi, S; Agus, F; Velarde, S; Ekadinata, A; Rahayu, S. and van Noordwijk, M. 2011. *Measuring Carbon Stock Across Land Use Systems: A Manual*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office. 154 p.
- Hiernaux, P; Diarra, L; Trichon, V; Mougín, E; Soumaguel, N; Baup, F. 2009. Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali). *Journal of Hydrology*, 375(1-2), 103-113.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2007. *Censos Nacionales 2005*. Lima INEI 2007. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe>

_____ 2013. Compendio Estadístico del Perú 2013. 1523 p.

IPCC Climate Change 2018. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers: Switzerland. 32 p

Jose, S; Gold, M; Garrett, HE. (2012). The future of temperate agroforestry in the United States. In: Nair PKR, Garrity DP (eds) Agroforestry: The future of global land-use. Agroforestry the Future of Global Land-Use. Springer, 217-245.

Keenan, RJ; Reams, GA; Achard, F; de Freitas, JV; Grainger, A; Lindquist, E. 2015. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. Forest Ecology and Management, 352: 9-20.

Krebs, CJ. 1999. Ecological Methodology. Addison Wesley Longman, Inc. New York: Harper y Row. 765 p.

Kimaro, AA; Isaac, M.E; Chamshama, S.A.O. 2011. Carbon Pools in Tree Biomass and Soils Under Rotational Woodlot Systems in Eastern Tanzania. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges. Springer, 129-143.

Kumar, BM; Takeuchi, K. 2009. Agroforestry in the Western Ghats of peninsular India and the Sotoyama landscapes of Japan: a comparison of two sustainable land use systems. Sustain Sci 4: 215-232.

Kyrby KR; Potvin C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. For Ecol Manage 246: 208-221.

Lambin, EF; Baulies, X; Bockstael, N; Fisher, G; Krug, T; Leemans, R; Moran, EF; Rindfuss, RR; Sato, Y; Skole, D; Turner, BL; Vogel, C. 1999. Land-use and Land-cover Change (LUCC): Implementation strategy. IHDP Report10, international Geosphere-Biosphere Programme, International Human Dimensions on global Environmental Change Programme. 125 pp

_____; Geist, H; Lepers, E. 2003. Dynamics of land use and cover change in tropical and subtropical regions. Annu Rev. Env Resour 28: 205-241.

- _____; Geist, H 2008. Land-use and Land-cover Change: Local Processes and Global Impacts. Springer Science & Business Media. 222 p.
- Lapeyre, T; Alegre, J; & Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 3(1-2): 35-44.
- Leith, H; Whittaker, R. 1975. Primary productivity of the biosphere. *Ecological studies* N° 14. 339 p.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 265 p.
- Malleux, J. 1971. Estratificación forestal con uso de fotografías aéreas. Volumen 1. Lima, Universidad Nacional Agraria/Universidad Carolina del Norte. 81 p.
- Matteucci, S; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington D.C. OEA. 168 p
- Matocha, J; Schroth, G; Hills, T; Hole, D. 2012. Integrating climate Change Adaptation and Mitigation Through Agroforestry and Ecosystem Conservation. *Agroforestry the Future of Global Land-Use*. Springer, 105-126.
- Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos segunda edición. Universidad estatal de Arizona. 700 p.
- Mosquera-Losada M.R; Moreno G; Pardini A; McAdam J.H; Papanastasis V; Burgess P.J. 2012. Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. *Agroforestry the Future of Global Land-Use*. Springer, 285-309.
- Mutuo, P. K; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, C; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 71(1): 43-54.
- Nabuurs, GJ; Masera, O; Andrasko, K; Benitez-Ponce, P; Boer, R; Dutschke, M; Elsiddig, E; Ford-Robertson, J; Frumhoff, P; Karjalainen, T; Krankina, O; Kurz, WA; Matsumoto, M; Oyhantcabal, W; Ravindranath, NH; Sanz, MJ; Zhang, X. 2007. Forestry. In *climate change 2007: Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 541-584

- Nair, P.K.E; Nair, V.D; Kumar B.M; Showalter J.M. 2010. Carbon Sequestration in Agroforestry Systems. *Adv Agron* 108: 237-307.
- _____. 2011. Methodological Challenges in Estimating Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges*. Springer, 3-16.
- _____. 2012. *Climate Change Mitigation: A Low-Hanging Fruit of Agroforestry. Agroforestry the Future of Global Land-Use*. Springer, 31-67.
- Najera, J. 1999. Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso Temaulipeco del nordeste de México. Tesis de maestría para obtener el grado de magister en ciencias forestales. 111 p.
- Ojima, D; Galvin, KA; Turner, BL. 1994. The global Impact of Landuse Change. *BioScience* 44: 300-304.
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono em um estudo de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM. México D.F. 127 p.
- Palm, CA; Alegre, J; Arévalo, L; Castilla, C; Cordeiro, DG; Feigl, B; Hairiah, K; Kotto-Same, J; Mendes, A; Moukam, A; Murdiyarso, D; Njomganang, R; Parton, WJ; Ricse, A; Rodrigues, V; Sitompul, SM; Van Noordwijk, M. 1999. Carbon sequestration and trace emissions in slash and burn and alternative land uses in the humid tropics. ASB Climate Change Working group report, Final report, Phase 2: 27 p.
- Paustian, K; Andrén, O; Janzen, H; Lal, R; Smith, P; Tian, G; Woomer, P. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil use and management*, 13: 230-244.
- Peichl M; Thevathasan NV; Gordon AM; Huss J; Abohassan RA. (2006). Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping system, southern Ontario, Canada, *Agrofor Syst* 66: 243-257.
- Quinkenstein, A; Böhm, C; Da Silva, E; Freese, D; Hüttl, R.F. 2011. Assessing the Carbon Sequestration in Short Rotation Coppices of *Robinia pseudoacacia* L. on Marginal Sites in Northeast Germany. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges*. Springer, 201-216.

- Reynel, C; Pennington, T; Särkinen, T. 2003. Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú. 412 p.
- Robiglio, V; Reyes, M; Castro, E. 2015. Diagnóstico de los productores familiares en la Amazonía Peruana. ICRAF Oficina Regional para América Latina, Lima, Perú. Por encargo de GGGI & DIE. 209 p.
- Roncal-García, S; Soto-Pinto, L; Castellanos-Albores, J; Ramírez-Marcial, N; De Jong, B. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(3): 200-206.
- Rügnitz, M.T; Chacón, M.L; Porros, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono em Pequeñas Propiedades Rurales 1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). Consórcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Schimel, DS. 1995. Carbon and nitrogen turnover in adjacent grassland and cropland ecosystems. *Biogeochemistry* 2: 345-357.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. 17 p.
- Schlesinger W.H. 1990. Evidences from chronosequence studies for low carbon-storage potential of soils. *Nature* 348: 232-234.
- Schroeder, J.I; Ward, J.M; Gassmann, W. 1993. Perspectives on the physiology and structure of inward rectifying K⁺ channels in higher plants: Biophysical implications. *Ann Rev Biophys Biomol Struct*, 23: 441-471.
- _____ 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 89-97.
- Sinclair, F.L. 1999. A General Classification of Agroforestry Practica. *Agroforestry Systems*, 46(2): 161-180.
- Smith, J; Sabogal, C; W. de JONG; Kaimowitz, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. Bogor: CIFOR (13): 36 p.
- Soares, T; Carneiro, A; Goncalves, E; Lelles, J. 2006. Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia. *Revista Científica Electrónica de Engenharia Florestal*. 9 p.

- _____; Carneiro, A; Goncalves, E; Lelles, J. 2006. Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia. *Revista Científica Electrónica de Engenharia Florestal*. 9 p.
- Steffan-Dewenter, I; Kessler, M; Barkmann, J; Bos, M; Buchori, D; Erasmi, S; Guhardja, E. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12), 4973-4978.
- Terborgh, J; Andresen, E. 1998. The composition of amazonian forests: patterns at local and regional scale. *Journal of Tropical Ecology* 14. 645 – 664.
- Thevathasan NV; Gordon AM. (2004). Ecology of tree intercropping system North temperate region: experiences from Southern Ontario, Canada *Agrofor Syst.* 257 – 268.
- Turner, BL II; Skole, D; Sanderson, S. 1995. Land-use and Land-cover Change in Science/Research Plan. HDP Report (7). 61-78.
- _____; Clark, WC; Kates, RW; Richards, JF; Mathews, JT; Mayer, WB. 1990. The Earth as transformed by human action: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years. Cambridge University press, Cambridge. 713 p.
- Van Noodwijk, M; Hairiah, K. 2007. Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA). *Planta*, 120(3). 40 p.
- Van Noodwijk, M; Tata, H.L; Xu, J; Dewi, S; Minang, P. 2012. Segregate or Integrate for Multifunctionality and Sustained Change Through Rubber-Based Agroforestry in Indonesia and China. *Agroforestry the Future og Global Land-Use*. Springer, 69 – 104.
- Vargas, IN. 2008. Evaluación de aspectos de reclutamiento limitado y su efecto sobre la diversidad en un bosque húmedo tropical, Estación Biológica Caparú, Vaupés, Colombia. Tesis de maestría. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá. 159 p.
- Verburg, P; Kok, K; Pontius, RG; Veldkamp, A 2006. Modeling Land-Use and Land-Cover Change. *Land-Use and Land.Cover Change*. Springer: 117-135.

- Villareal, A; Arends, E; Escalante, E. 2003. Caracterización estructural y florística de sistemas tradicionales conucos-barbechos de la etnia piaroa, Amazonas, Venezuela. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida (Venezuela). 10 p.
- Walker, B; Steffen, W; Canadell, J; Ingram, JS. 1999. The terrestrial biosphere and global change: Implications for natural and managed ecosystems. The IGBP Book Series, Cambridge University Press, Cambridge.
- Walker, R; Homma, A. 1996. Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. *Ecological Economics* (18): 67 - 80.
- Young A. 1997. Agroforestry for soil management (2). CAB International, Wallingford, UK. 320 p.
- Zamora, J. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del Ejido "La Majada" Municipio de Peribán de Ramos, Michoacán. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo especialidad en bosques, Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 59 p.

VIII. ANEXO

Anexo 1

Formato N° 01: Información general del productor y su finca

- 1.1. Nombres y apellidos del encuestador: _____
- 1.2. Fecha (día/mes/año): _____/_____/_____
- 1.3. Nombres y apellidos del entrevistado: _____
- 1.4. Género del entrevistado: _____
- 1.5. Edad del entrevistado (años): _____
- 1.6. Experiencia del entrevistado en el cultivo del cacao (años): _____
- 1.7. Cargo del entrevistado (dueño, obrero, familiar): _____
- 1.8. Código de cacaotal: _____
- 1.8. Este cacaotal se encuentra bajo certificación orgánica? SI NO

| Técnicos | Fecha | Hora de inicio | Código del agricultor | código del cacaotal | Unidad de muestreo | Uso de la tierra |
|--|---------|------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| | | | | | | |
| Superficie declarada de la parcela: | | | | | | |
| Topografía de la parcela en su totalidad: | | | | | | |
| Posición geográfica | | | | | | |
| Tipo de erosión: | | | | | | |
| Edad de la Parcela (años): | | | | | | |
| Si es Purma o cacaotal: Dinámica de cambios después de la tumba del bosque o desde la compra | | | | | | |
| Nº | Periodo | Uso de la tierra | | | | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| ... | | | | | | |

Anexo 4

Formato N° 04: Evaluación de la vegetación en la UM3

Evaluación de árboles de 2.5 a 5 cm a más de DAP (3 Parcela de UM3 - 1 x 1 m)

Altura del observador: _____

Número de la parcela: _____

USO de la tierra: _____

Unidad de muestreo: _____

Fecha: _____ / _____

Hora de inicio/finalización: _____ / _____

| <i>N° del árbol</i> | Nombre de la planta | Circunferencia del tronco (cm) | Altura - Estimación visual (m) | <i>N° del árbol</i> | Nombre de la planta | Circunferencia del tronco (cm) | Altura - Estimación visual (m) |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | | | | 26 | | | |
| 2 | | | | 27 | | | |
| 3 | | | | 28 | | | |
| 4 | | | | 29 | | | |
| 5 | | | | 30 | | | |
| 6 | | | | 31 | | | |
| 7 | | | | 32 | | | |
| 8 | | | | 33 | | | |
| 9 | | | | 34 | | | |
| 10 | | | | 35 | | | |
| 11 | | | | 36 | | | |
| 12 | | | | 37 | | | |
| 13 | | | | 38 | | | |
| 14 | | | | 39 | | | |
| 15 | | | | 40 | | | |
| 16 | | | | 41 | | | |
| 17 | | | | 42 | | | |
| ... | | | | ... | | | |

Anexo 5

Formato N° 05: Evaluación de la necromasa

Evaluación de NECROSAMA (En parcelas UM1)

Altura del observador: _____

Número de la parcela: _____

Fecha: _____

Hora de inicio/finalización: _____ / _____

USO de la tierra: _____

Unidad de muestreo: _____

| N° | Nombre de la planta | Estado de degradación. | Circunferencia del tronco (cm) | Altura o largo (m) | N° | Nombre de la planta | Estado de degradación | Circunferencia del tronco (cm) | Altura o largo (m) |
|-----|---------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|-----|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | | | | | 14 | | | | |
| 2 | | | | | 15 | | | | |
| ... | | | | | ... | | | | |

Evaluación de NECROSAMA (En parcelas UM2)

Estatura del observador: _____

Número de la parcela: _____

Fecha: _____

Hora de inicio/finalización: _____ / _____

USO de la tierra: _____

Unidad de muestreo: _____

| N° | Nombre de la planta | Estado de degradación. | Circunferencia del tronco (cm) | Altura o largo (m) | N° | Nombre de la planta | Estado de degradación | Circunferencia del tronco (cm) | Altura o largo (m) |
|-----|---------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|-----|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | | | | | 14 | | | | |
| 2 | | | | | 15 | | | | |
| ... | | | | | ... | | | | |

Anexo 6

Formato N° 06: Vegetación no arbórea UM3

Evaluación de plantas no arbóreas (3 Parcela de UM3 - 1 x 1 m)

Fecha: _____

Hora de inicio/finalización: _____ / _____

| N° de la Parcela | Código de Uso | SUB-UM | Peso fresco UM3 1 | Peso fresco UM3 2 | Peso fresco UM3 3 | Peso total (g) | Peso de la Muestra compuesta (g) |
|------------------|---------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |

Anexo 7

Formato N° 07: Hojarasca UM3

Evaluación de Hojarasca (3 Parcela de UM3 - 1 x 1 m)

Fecha: _____

Hora de inicio/finalización: _____ / _____

| N° de la Parcela | Código de Uso | SUB-UM | Peso fresco UM3 1 | Peso fresco UM3 2 | Peso fresco UM3 3 | Peso total (g) | Peso de la Muestra compuesta (g) |
|------------------|---------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |

Anexo 8

Formato N° 08: ramas y raíces sobre el suelo UM3

Evaluación de ramas y raíces (3 Parcela de UM3 - 1 x 1 m)

| | | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|----------------------------|----------------------------|--|---|
| Cilindro | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Fecha: _____ | | Hora de inicio/finalización: _____ / _____ | |
| N° de la Parcela | Código de Uso | SUB-UM | Profundidad del cilindro 1 | Profundidad del cilindro 2 | Profundidad del cilindro 3 | Peso fresco total de ramas y raíces (g) |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| ... | | | | | | |

Anexo 9

Formato N° 09: Muestreo para carbono orgánico del suelo (COS) UM3

Muestreo de suelo para COS (3 Parcela de UM3 - 1 x 1 m)

| | | | | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|--|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| cilindro | Longitud (cm) | Diámetro (cm) | Fecha: _____ | | Hora de inicio/finalización: _____ / _____ | | | |
| N° de la Parcela | Código de Uso | SUB-UM | Profundidad del cilindro 1 (cm) | Profundidad del cilindro 2 (cm) | Profundidad del cilindro 3 (cm) | Peso fresco total de las 3 UM3 (g) | Peso fresco total de las 3 UM3 (g) - D.A. | Longitud total de los 3 cilindros D.A |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |