PERÚ | Ministerio de Agricultura | Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre

PROYECTO

Gestión Forestal Sostenible y Aprovechamiento de los Servicios Ecosistémicos en los Bosques Administrados por la Comunidad Nativa Ese Eja de Infierno, Perú

ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA DEL BOSQUE DE LA COMUNIDAD NATIVA ESE´ESJA DE INFIERNO – MADRE DE DIOS, PERÚ

Puerto Maldonado-Madre de Dios 2012

CONTENIDOS

I. Introducción 3

II. Objetivos 3

III. Ubicación del área de estudio 4

IV. Materiales y métodos 5

V. Resultados 16

VI. Conclusiones y discusión 18

VII. Bibliografía 19

ANEXOS 20

I. Introducción

La comunidad nativa Ese'Eja de Infierno, se encuentra ubicada en la región de Madre. Esta comunidad obtuvo el reconocimiento oficial en el año1974, donde se le otorgó el título de territorio comunal con una extensión de 9.518 hectáreas a lo largo del Río Tambopata, cuya mayor parte aún sigue cubierta de bosque primario y el resto se utiliza principalmente para la agricultura en pequeña escala. La comunidad es pluriétnica ya que está conformada por familias del pueblo indígena Ese'eja y mestizas, éstas últimas migrantes de la zona andina y también locales, denominadas ribereñas. Es preciso indicar que Infierno es una de las únicas dos comunidades nativas en toda la región que alberga población indígena de esta etnia.

Las amenazas principales que afecta la conservación de los bosques existentes en el territorio de propiedad comunal es la migración, consecuencia de la pavimentación de la carretera interoceánica que conecta Brasil con la costa peruana del Pacifico y la minería informal. Por ello, se vio por conveniente impulsar actividades que contribuyan a una gestión sostenible y participativa, de modo que se asegure la conservación de los bosques de la comunidad.

En tal sentido la Organización Internacional de las Maderas Tropicales – OIMT, viene ejecutando un proyecto en esta comunidad con el fin de contribuir a la conservación de los bosques y el aprovechamiento sostenible de los servicios ecosistemicos y generar las condiciones para la implementación de un esquema de gestión de bosque.

En el presente informe se describe la metodología y los resultados del inventario de de carbono realizado en los bosques de la comunidad nativa Ese´esja de Infierno. El mismo que se usara para la construcción de la línea de base de un proyecto de carbono bajo el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD).

II. Objetivo

Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa del bosque de la Comunidad Nativa Ese´esja de Infierno.

2.1. Objetivos específicos:

- Estimar el contenido de carbono almacenado en el reservorio aéreo.
- Estimar el contenido de carbono almacenado en el reservorio subterráneo.
- Estimar el contenido de carbono en hojarasca.
- Estimar el contenido de carbono orgánico del suelo.

III. Ubicación del área de estudio

El área de estudio cubre una extensión de 17,913.5 hectáreas, políticamente, la comunidad nativa de Infierno se encuentra ubicada en la Región de Madre de Dios, que comprende el distrito de Tambopata y la provincia del mismo nombre.

Geográficamente limita al este con Bolivia, al noreste con Brasil y al noroeste, oeste y sur con las regiones peruanas de Ucayali, Cusco y Puno respectivamente. La comunidad se encuentra en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata encontrándose al sureste de la misma.

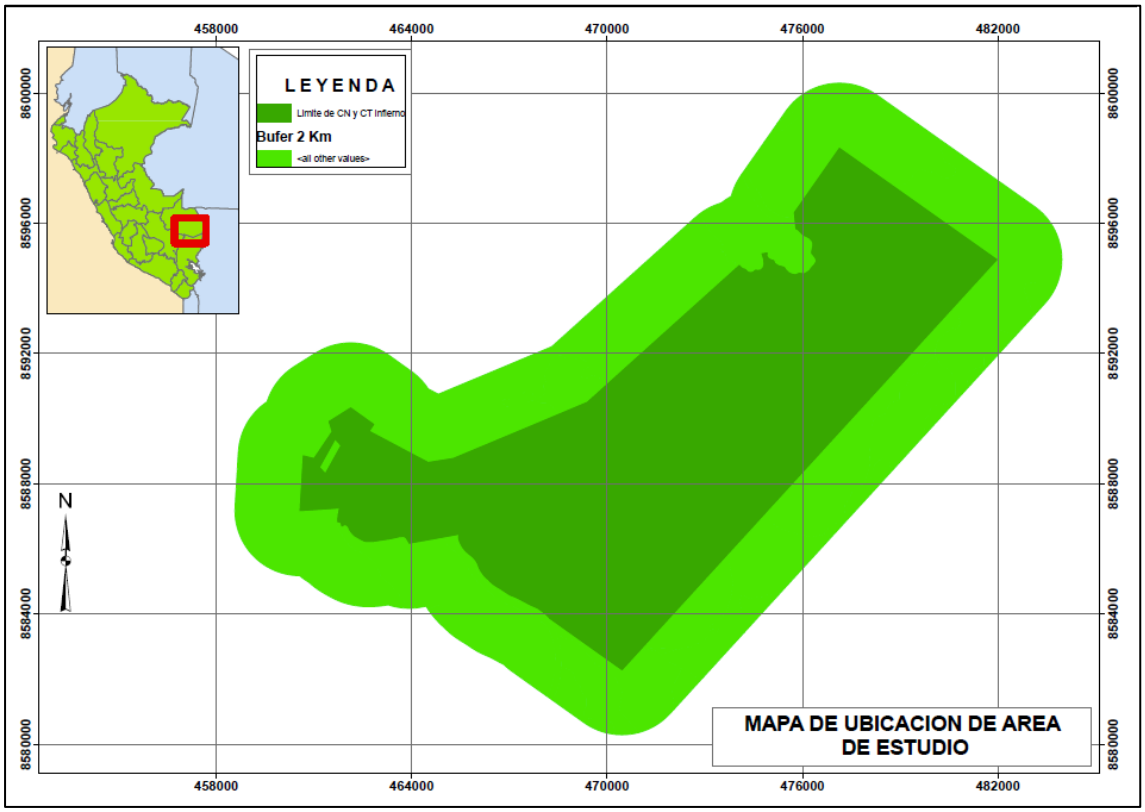


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

IV. Materiales y métodos

4.1. Metodología

El área de estudio comprende una extensión de 17, 913.5 ha que corresponde a la comunidad nativa de infierno, su área de concesión de ecoturismo y el área de influencia a 2 km.

4.1.1. Tratamiento y clasificación de imágenes satelitales landsat para determinar deforestación en la Comunidad Nativa Infierno (Revisar anexo 6)

- **Búsqueda y recopilación de información**

Dada la extensión del área de estudio, se debió utilizar 1 Path Row, el mismo que se utilizó para la determinación de deforestación 2010.

Así mismo se realizó con el apoyo de imágenes de alta resolución obtenidos del software Google Earth Profesional para una mayor exactitud en la clasificación de tipos de bosque.

- **Procesamiento digital de imágenes de satélite**

Las imágenes de satélite fueron inicialmente tratadas con ayuda del software ENVI. Se realizó una combinación de las tres bandas multiespectrales 5,4 y 3 para que se pueda realizar con mayor facilidad la interpretación visual y clasificación.

No fue necesario corregir geométricamente las imágenes debido a que las imágenes ya se encontraban con el proceso de ortorectificadas.

Seguidamente se descargaron Imágenes del Software Google Earth Profesional a una altura de 156 metros con una resolución de 4800 por 2821dpi.

Posteriormente se realizó el tratamiento de georeferenciación de las imágenes descargadas en el software Arcgis 9.3.1 con la función Georeferencing, introduciendo 8 puntos de control por cada imagen descargada, usando como referencia las imágenes Landsat Ortorectificadas.

- **Interpretación visual**

Para la interpretación visual no se usó ningún tipo de clasificador digital porque consideramos que se deben conjugar varios factores como la textura, la fisiografía, entre otros para determinar mejor las unidades.

Como lo menciona Euler (Huerta, 2008)[1], la clasificación visual es el método más eficaz de cartografiado forestal, sin embargo señala que sus limitaciones son: es en cierta medida subjetiva, puede variar según la experiencia del intérprete y de su conocimiento del sitio cartografiado y puede ser no repetible, y que por lo tanto es necesaria una evaluación en el terreno para confirmar la precisión del cartografiado. Además, algunos factores temporales como las condiciones climáticas, las variaciones estacionales de la vegetación y la presencia de nubes pueden afectar el proceso de interpretación.

La escala en la que se trabajo fue de 1:15000 pudiendo aumentar en zonas que se requería mayor detalle.

[1] Huerta P. 2008 Procesamiento de imágenes de satélite para SFMBAM. Lima. Perú

Como resultado de la interpretación visual a través de las imágenes de alta resolución se pudo determinar las siguientes clases como se muestra en el cuadro 1:

Cuadro 1. Clases de superficies identificadas

Clases
Agricultura / Deforestación
Aguajal
Bosque Primario
Bosque Secundario/ Pastos
Centros Poblados
Hidrografía
Vías

Con la clasificación obtenida por la interpretación de imágenes, se pudo establecer la estratificación del área de estudio.

Cuadro 2. Estratos y área de estudio

Estratos	Superficie (ha)
Aluvial inundable	3,121.5
Terraza disectada suave	6,147.4
Terraza baja	8,532.9
Aguajal mixto	111.6
Total	**17,913.5**

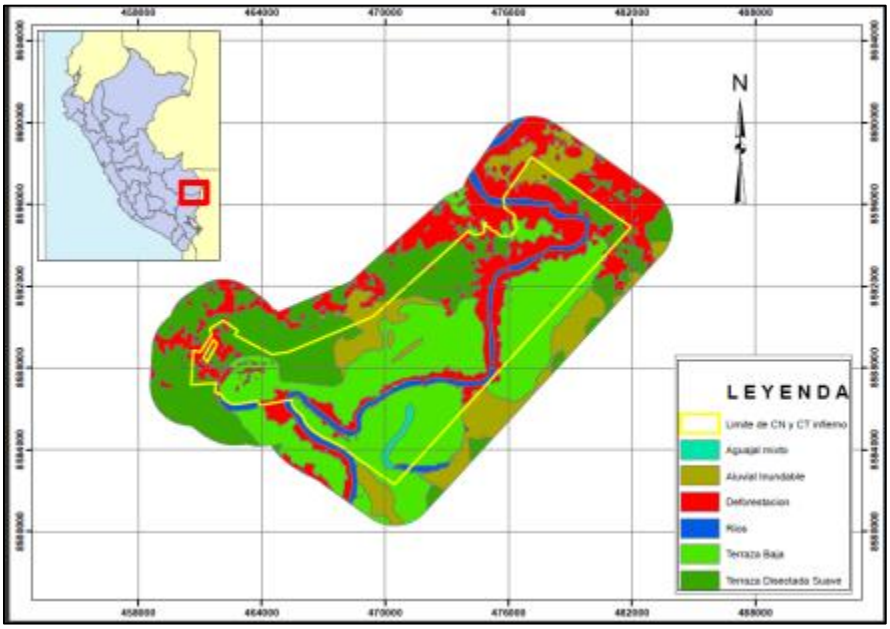


Figura 2. Mapa de estratificación del área de estudio

4.1.2. Diseño, forma y tamaño de la muestra

El inventario realizado para determinar los contenidos de carbono fue de tipo exploratorio, con un diseño de muestreo estratificado óptimo y una distribución sistemática al azar en los tipos de vegetación identificados.

El muestreo estratificado óptimo permite una distribución de las muestras en forma proporcional al tamaño del estrato y a su desviación típica (variancia), para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 (\sum_1^M PjS_j)^2}{E^2}$$ (Tamaño total de la muestra)

$$nj = \frac{n\ Pj\ S_j}{\sum_1^M Pj\ S_j}$$ (Tamaño de la muestra para cada estrato)

Dónde:

n = Tamaño total de la muestra

nj = Tamaño total de la muestra para cada estrato

Sj = La desviación típica del estrato j

Pj = Porción del estrato j

t = valor de t-studens

M = Numero de estratos

Mediante esta fórmula se consigue un valor ajustado de n y nj, que en todos los casos dará un tamaño de muestra menor que el convencional.

Ya anteriormente se ha mencionado que, mediante un análisis de varianzas es posible descomponer la varianza total de la población en dos fuentes de variación[2]:

Varianza entre estratos y varianza dentro de estratos

$$\sigma^2 = \sigma_y^2 + \sigma_\beta^2$$

Dónde:

σ^2 = Variancia total

σ_y^2 = Variancia entre estratos

[2] MALLEUX. 1982. Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Lima.

σ_{β}^{2} = Variancia dentro de estratos, o, variancia debido a estratificación.

La unidad de muestreo estuvo constituida por parcelas temporales de forma circular y anidada de 1, 5, 16 y 30 metros de radio. El error de muestreo máximo para los estratos con bosque fue de 10%, con respecto al promedio del total de carbono almacenado por hectárea.

Para mayor seguridad de no sobrepasar el error de muestreo prefijado de 10% se adiciono un 10% más de parcelas a evaluarse.

Este 10% adicional también permitirá afrontar cualquier hecho imprevisto que en el futuro pudiera impedir localizar de nuevo a todas las parcelas[3].

Para el cálculo de las parcelas de muestreo se establecieron coeficientes de variación CV%[4] de trabajos realizados en la región de Madre de Dios.

Se establecieron 50 parcelas de muestreo distribuidas en los estratos existentes en el área de estudio. Mayor detalle ver el cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de parcelas de muestreo

Estratos	Superficie (ha)	C.V %	Parcelas
Aluvial inundable	3,121.5	32.1	9
Terraza disectada suave	6,147.4	33.3	16
Terraza baja	8,532.9	29.0	19
Aguajal mixto	111.6	50.2	6
Total	**17,913.5**		**50**

En cada parcela se realizaron las medidas de todo tipo de vegetación leñosa con diámetro de tallo a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 5 cm para las parcelas anidadas de 5, 16 y 30 m de radio. Para el nido 1 m de radio se consideró especies leñosas con diámetros menores a 5 cm. En esta categoría también serán consideradas las plantas que presentan varios ejes que en conjunto midieron menos, igual o más de 5 cm de DAP. La figura 3 muestra el tamaño de cada parcela anidad y las medidas de cada individuo correspondiente.

[3] IPCC. 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS.
[4] RECAVARREN *et al*. 2011. Proyecto REDD en Área Naturales Protegidas de Madre de Dios.

De acuerdo al método complementario y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto, se hizo una adecuación de esta metodología teniendo en cuenta los Indicadores que establece, con respecto a las parcelas circulares (IPCC, 2003).

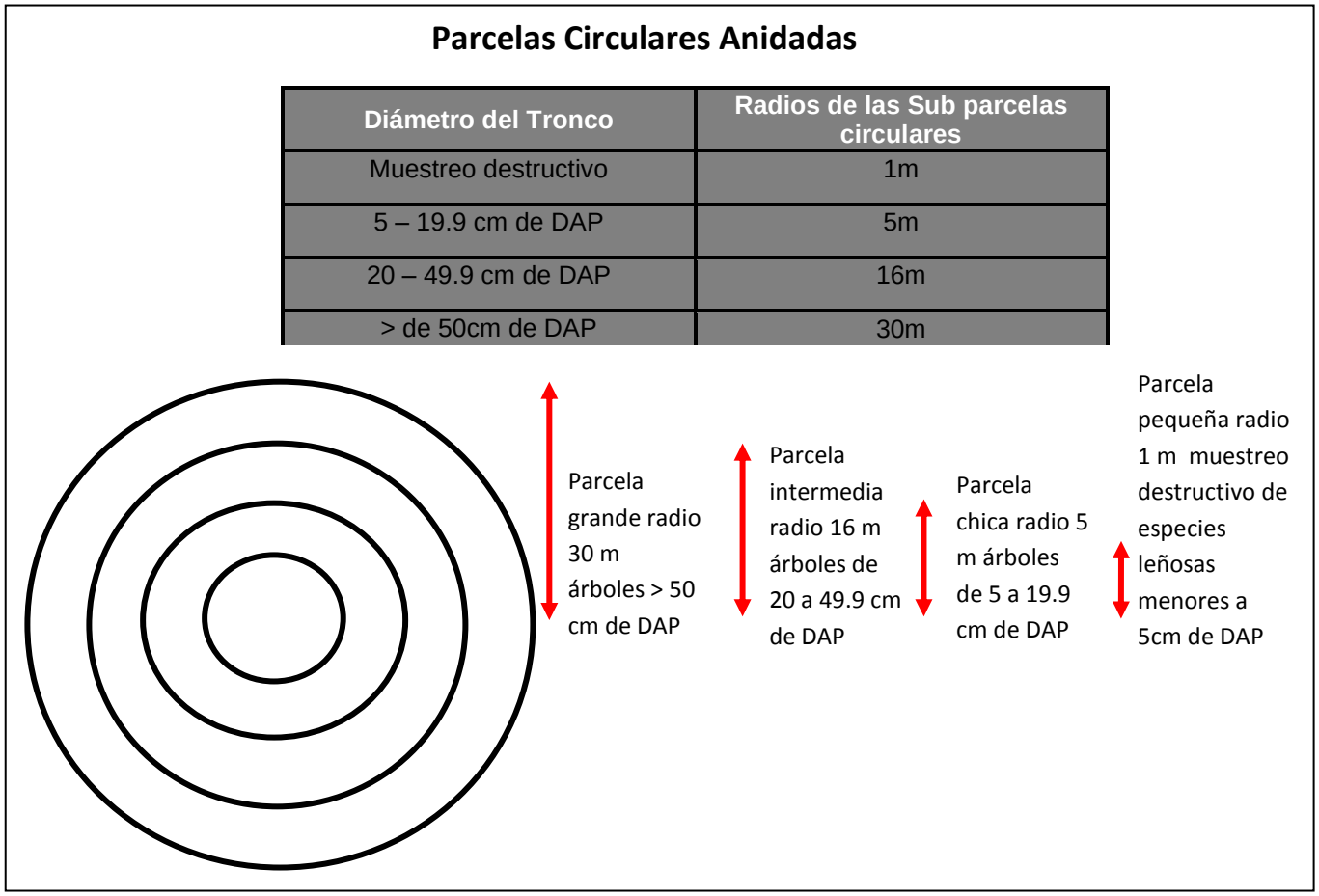


Figura 3: Forma y tamaño de las parcelas de evaluación

4.1.3. Muestreo destructivo

Para los individuos con tallo leñoso y menores a 5 cm de DAP, se realizó el muestreo destructivo, (brinzales) que consiste en la cuantificación de biomasa por secado de muestras en el laboratorio.

Muestreo destructivo para brinzales (árboles menores a 5cm de DAP)

- En la parcela de 1 metro de radio se realizó un muestreo destructivo de especies leñosas menores a 5 cm de DAP, en este caso se usó una regla vernier para su medición exacta.

- Todas las especies leñosas encontradas en la parcela de 1 m de radio menores a 5 cm de DAP se cortaron al ras del suelo y fueron

colocadas sobre un plástico y seguidamente pesadas en su conjunto obteniéndose de esta manera un peso húmedo de la muestra la cual fue registrado en el formato respectivo.

- Seguidamente de esta muestra se extrajo una sub muestra la cual contenía en forma proporcional hojas, ramas, ramitas y fustes y si hubiera habido flores y frutos también esto se hubiese considerado en la misma proporción. El peso de esta sub muestra alcanzo aproximadamente 1000 gramos el cual fue pesado para obtener el peso húmedo de la sub muestra de la parcela.

- Estas sub muestras fueron embolsados, etiquetados y trasladados al laboratorio para el secado en la estufa a una temperatura de 85°C, hasta obtener un peso constante.

4.1.4. Muestreo de hojarasca, detritos, vegetación de pajonal y pastos.

Para realizar este tipo de muestreo se realizó los siguientes pasos:

- Del centro de la parcela se midió en dirección a los cuatro puntos cardinales 7 m de distancia y en este punto usamos como centro y colocamos el marco cuadrado de 50 cm x 50 cm, cuyos lados eran paralelos y perpendiculares al norte magnético.

- Seguidamente, del interior de este marco se extrajo toda la hojarasca, detritos y pastos que existía en las muestras de los cuatro puntos cardinales los cuales fueron pesados en su totalidad y registrados en el formato correspondiente.

- Luego, de este conjunto se extrajo una sub muestra de 500 gramos aproximados el cual fue pesado, registrado, embolsado y etiquetado.

- Las sub muestras fueron llevadas al laboratorio para su secado en la estufa a una temperatura de 85 °C.

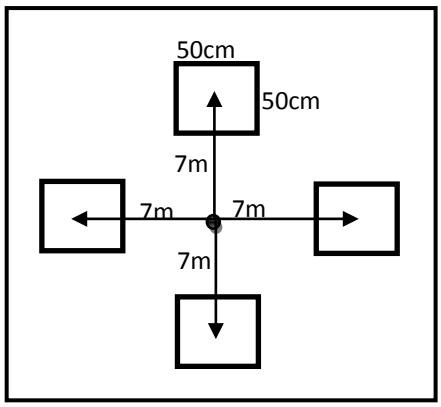


Figura 4. Tamaño y forma de las sub muestras

4.1.5. Muestreo para cuantificar el carbono almacenado en el suelo

Para cuantificar el carbono almacenado en el suelo se establecieron parcelas de muestreo. Por cada parcela se sacaron 2 muestras para determinar la densidad aparente, ubicadas en los puntos cardinales Norte y Sur (N-S) y 4 muestras para determinar carbono almacenado en el suelo. Para mayor detalle ver el cuadro 3.

Cuadro 4. Determinación de carbono y densidad aparente

<table>
<tr><th colspan="6">Parcela N:</th></tr>
<tr><td colspan="3">Determinación de carbono</td><td colspan="3">Determinación de densidad aparente</td></tr>
<tr><td>Muestras para determinación de carbono en campo</td><td>Sub muestra extraídas de campo</td><td>Agrupación de sub muestras para laboratorio</td><td>Muestras para determinación de densidad aparente en campo</td><td>Sub muestra extraídas de campo</td><td>Agrupación de sub muestras para laboratorio</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(Norte) 1</td><td>0 – 10 cm</td><td rowspan="4">De 0-10 cm</td><td rowspan="2">(Norte) 1</td><td>0 – 10 cm</td><td rowspan="3">De 0-10 cm</td></tr>
<tr><td>10 a 30 cm</td><td rowspan="2">10 a 30 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(Este) 2</td><td>0 – 10 cm</td><td rowspan="2">(Sur) 2</td></tr>
<tr><td>10 a 30 cm</td><td rowspan="3">De 10-30 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(Oeste) 3</td><td>0 – 10 cm</td><td rowspan="4">De 10-30 cm</td><td>0 – 10 cm</td></tr>
<tr><td>10 a 30 cm</td><td rowspan="2">10 a 30 cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(Sur) 4</td><td>0 – 10 cm</td></tr>
<tr><td>10 a 30 cm</td></tr>
</table>

Así mismo de estas muestras se dividieron en dos sub muestras, la primera fue de 0 – 10 cm y la segunda de 10 – 30 cm de profundidad. Para obtener las muestras y sub muestras se realizaron los siguientes pasos:

- Se determinó el sitio de muestreo de suelo, el cual tuvo como punto de partida el centro de la parcela, del cual se ha medido en dirección a los cuatro puntos cardinales 10 metros de distancia.

- Se realizó la limpieza de toda la vegetación y la hojarasca del sitio. Debido a que la concentración de carbono en materiales orgánicos es mucho más alta que en el suelo mineral, incluir erróneamente una pequeña cantidad de material superficial puede ocasionar una seria sobreestimación de los inventarios de carbono en suelo.

- Se insertó el muestreador (sonda), en el suelo firmemente hasta la profundidad estándar de 30 cm. Si el suelo está compactado, use un martillo de caucho para insertar por completo. Si la sonda no penetra hasta la profundidad total, no la fuerce, puesto que probablemente haya una piedra que esté bloqueando la ruta y al

forzarla la sonda se dañará. Si encuentra un bloqueo, retire la sonda, limpie la tierra recolectada y vuelva a insertarla en otro sitio.

- Se extrajo cuidadosamente la sonda y se puso la tierra en una bolsa, separándolos en dos sub muestras por profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm. Se codifico a cada bolsa con un número único de identificación.

- Se combinaron las 4 muestras en una misma bolsa y se codifico para llevar al laboratorio.

- En los puntos norte y sur se tomaron dos (02) muestras más para determinar la densidad aparente. Al tomar muestras para las mediciones de densidad aparente, debe tenerse cuidado de evitar cualquier pérdida de tierra de las muestras.

- Las muestras de tierra fueron llevadas a un laboratorio profesional para su análisis.

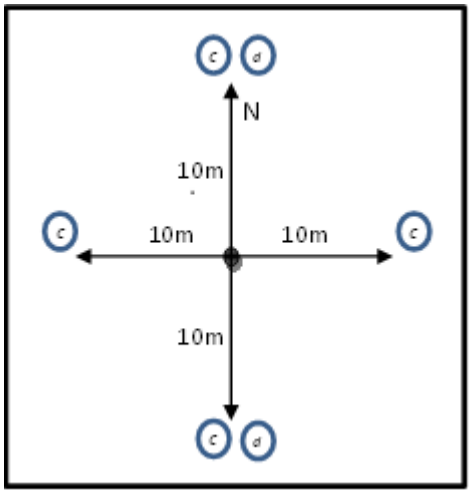


Figura 5. Ubicación de las muestras y sub muestras

4.1.6. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de biomasa

Para realizar los cálculos de biomasa se usó el método directo que establece el capítulo 4 sobre métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto [5]. Para efecto de nuestro trabajo se consideró solo algunos criterios que esta metodología establece, debido a que este método está orientado a parcelas permanentes.

[5] IPCC. 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS.

Las fórmulas empleadas para el cálculo de biomasa fueron las siguientes:

a) Ecuación alometrica para estimar biomasa aérea:

$$\text{Biomass} = \exp(-1.864 + 2.608 * \text{Ln(D)} + \text{Ln}(\rho)$$

Dónde:

D = diámetro a la altura del pecho (DAP), cm

ρ= densidad básica de las especies

ln = logaritmo natural

Fuente:

Chave *et al*. (2005)

Establecida para bosques húmedos tropicales

b) Ecuación alometrica para estimar biomasa sobre el suelo de la especie cético (*Cecropia sp*.)

$$\text{Biomass} = 12.764 + 0.2588 * (\text{dbh})^{2.0515}$$

Dónde:

dbh = Gama de DAP (cm): 5 – 40 cm

Fuente:
Pearson et al. (2005)

c) Ecuación alometrica para estimar la biomasa sobre el suelo de palmera

$$\text{Y} = 10.0 + 6.4 * \text{TH}$$

Dónde:

TH= altura total de la palmera en (m)

Fuente:
Fragi y Luyo. (1995). Citado por Brown, S. y Pasa, E. (2007)

d) Ecuación alometrica para estimar la biomasa sobre el suelo de lianas

$$Biomass = \exp(0.12 + 0.91 * Log(BA\ at\ dhb))$$

Dónde:
BA at dhb = área basal del DAP
dhb= DAP está establecido hasta 12 cm pero es aplicable a más.
Fuente:
Putz, F. (1983). Citado por Pearson et al. (2005).

e) Ecuación alometrica para estimar biomasa sobre el suelo de la palmera de wasaí

$$\text{Biomass} = 6.666 + 12.826 * \text{Ht}^{0.5} * \text{Ln(Ht)}$$

Dónde:

Ht = altura total, establecida solo hasta 33m

Fuente:

Pearson et al. (2005). Citado por Winrock (2006)

f) Ecuación alometrica para estimar biomasa subterránea de especies arbóreas

$$\text{Biomass} = \exp(-1.0587 + 0.8836 * \text{Ln (BSS)})$$

Dónde:

BSS= Biomasa sobre el suelo

ln = logaritmo natural

Fuente:

Fuente: Cairns et al. 1997. Citado por IPCC. (2003)

El carbono almacenado en la biomasa subterránea arbórea fue estimado a partir de la biomasa aérea. Esto se realizó para el caso del grupo de latifoliadas y ceticos. Con respecto a las palmeras se consideró la relación biomasa subterránea/biomasa aérea de 0.37 para bosques tropicales lluviosos establecido por las directrices del IPCC (2006) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

g) Relación biomasa / carbono

$$\text{Carbono} = \frac{\text{Biomasa}}{2}$$

Fuente: IPCC (2006)

4.2. Equipos y materiales

Cuadro 5. Equipos y materiales utilizados

Equipos	Para 1 brigada	
	Cantidad	Unidad
Brújula SUUNTO	2	Unidad
Forcípula	2	Unidad
Clinómetro SUUNTO	2	Unidad
GPS	2	Unidad
Cámara fotográfica	1	Unidad
Equipamiento personal		
Menaje de cocina	1	Kit
Poncho de plástico	7	Unidad
Colchoneta	7	Unidad
Botas de jebe	7	Par
Carpas de dormir	12	Unidad
Materiales de campo		
Wincha de 50 metros	2	Unidad
Machete	8	Unidad
Lima triangular	8	Unidad
Cinta de agua	9	Unidad
Plumón grueso de colores indeleble	9	Unidad
Engrapador	4	Unidad
Grapa	4	Caja
Tableros de campo	4	Unidad
Lápiz con borrador	8	Unidad
Calibrador	3	Unidad
Tajador	2	Unidad
Micas	2	Ciento
Linterna	2	Unidad
Pila Duracel A	12	Par
Medicinas	1	Kit
Plástico 10 x 20 m.	1	paño
Pilas Duracel AA (para GPS)	12	Par
Bosa plástica	10	Paquete
Costales	21	Unidad
Mochilas	3	Unidad
Instructivo de campo	7	Ejemplar
Mapas: Tipos de vegetación y fisiográfico con ubicación de parcelas	10	Unidad
Formatos de evaluación 1 y 2	500	Hojas

V. Resultados

Se determinó los contenidos de carbono en tn/ha de los bosques de la comunidad Nativa de Infierno y se validó los estratos de bosques establecidos para el levantamiento de información de las parcelas de muestreo.

La cantidad de parcelas evaluadas fueron un total de 50, distribuidas en toda el área de estudio.

También se realizó el levantamiento de información a 17 parcelas correspondientes a bosque secundario.

5.1 Contenidos de stock de carbono

De los resultados obtenidos se pudo estimar el contendido de carbono almacenado en tn/ha para cada reservorio.

La estimación de cada reservorio fue desarrollado de acuerdo a la estratificación elaborada al área de estudio y de igual forma al bosque secundario. Para mayor detalle revisar los cuadros 6 y 7.

Cuadro 6. Contenidos de carbono en diferentes tipos de bosque de acuerdo a sus reservorios

Estratos	Reservorio aéreo (tC/ha)	Reservorio subterráneo (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Suelo (tC/ha)
Aguajal mixto	110.0	38.4	1.1	93.1
Aluvial inundable	114.9	35.3	2.1	36.2
Terraza baja	121.1	31.7	1.6	30.3
Terraza disectada suave	98.6	24.7	3.4	24.9

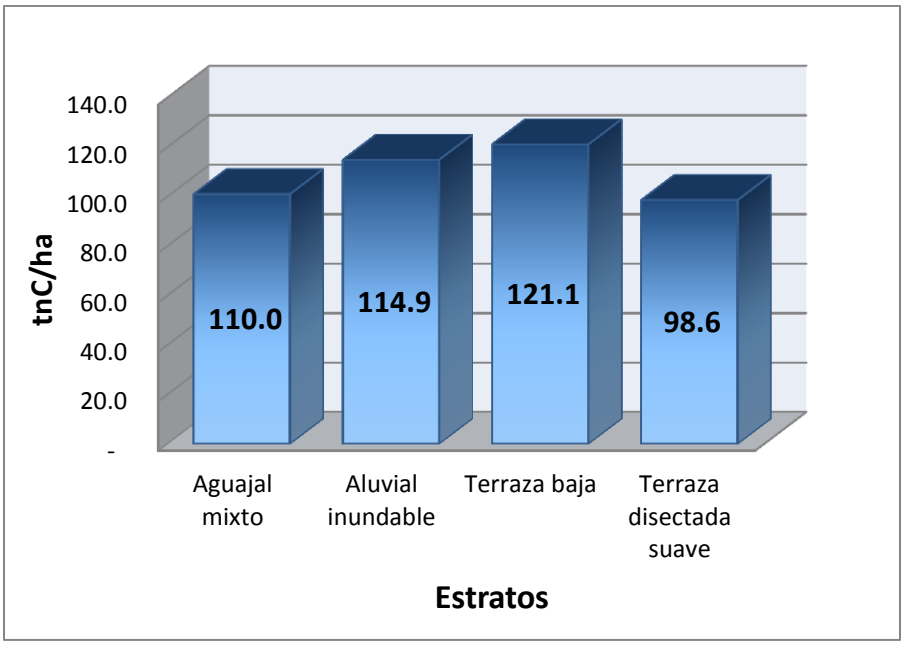


Grafico 1. Contenidos de carbono almacenado en el reservorio aéreo

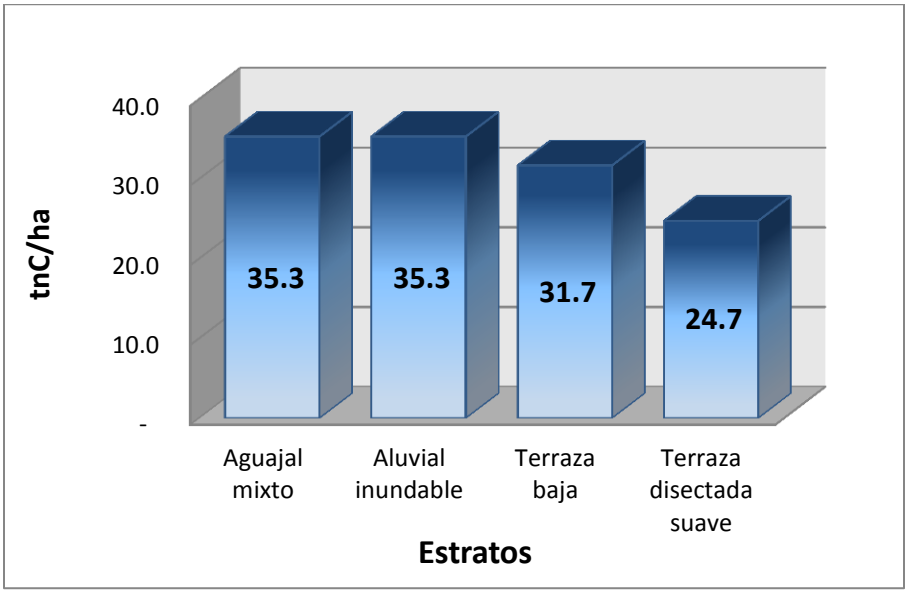


Grafico 2. Contenidos de carbono almacenado en el reservorio subterráneo

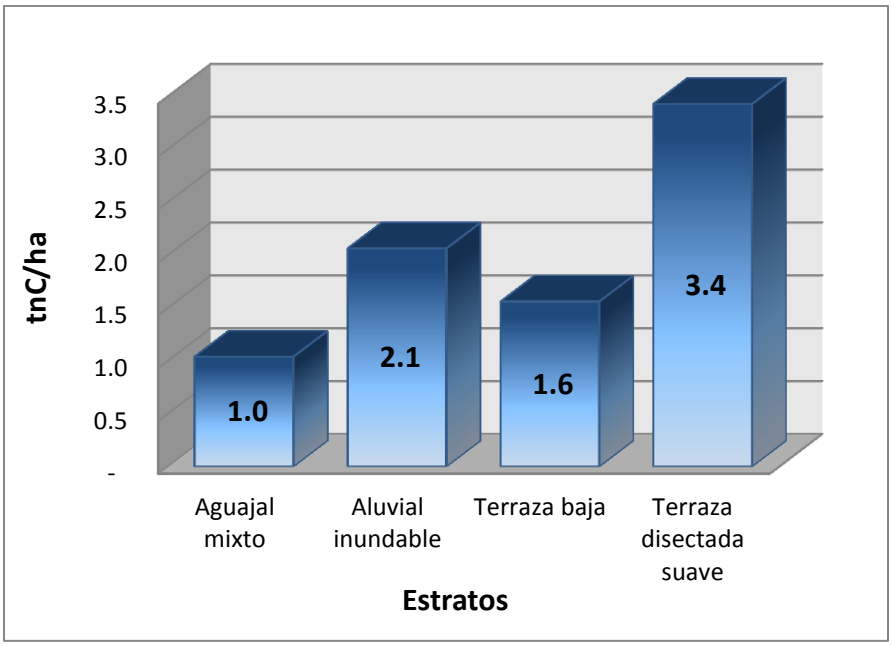


Grafico 3. Contenidos de carbono almacenado en hojarasca

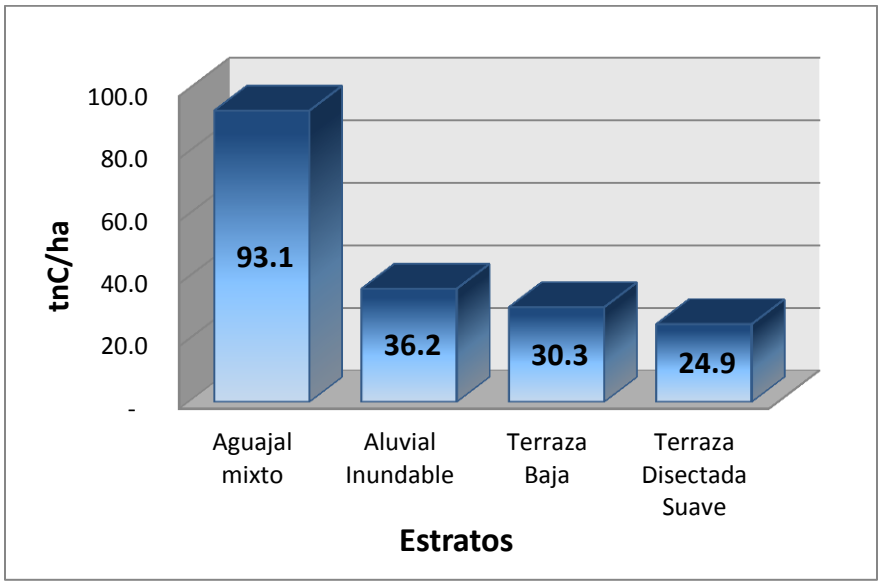


Grafico 4. Contenidos de carbono orgánico del suelo

Cuadro 7. Contenido de carbono en bosque secundario de acuerdo a sus estratos

Estratos	Reservorio aéreo (tC/ha)	Reservorio subterráneo (tC/ha)	Hojarasca (tC/ha)	Suelo (tC/ha)
Bosque secundario más de 20 años	88.4	23.0	4.61	37.43
Bosque secundario de 10 - 20 años	42.35	12.79	3.27	36.53
Bosque secundario de 5 – 10 años	16.40	5.08	3.65	30.82

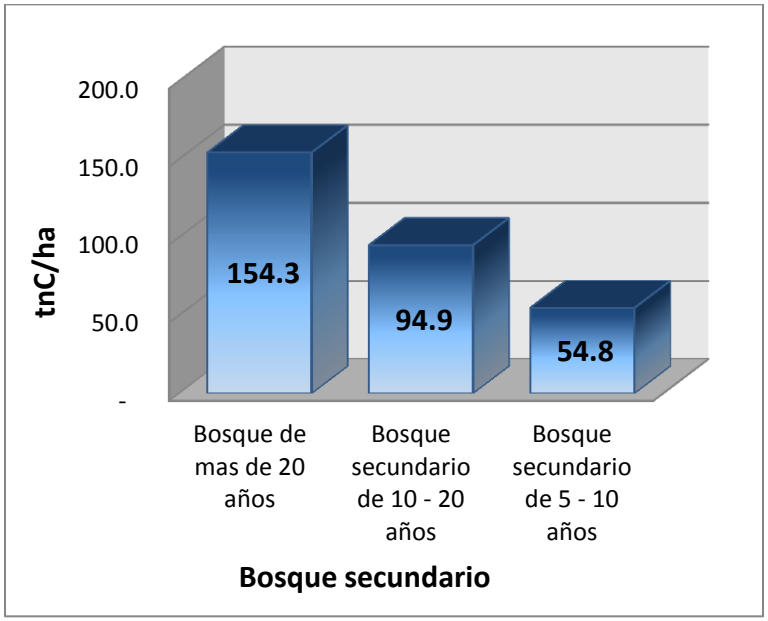


Grafico 5. Contenidos de carbono en tC/ha en bosque secundario de acuerdo a la edad del bosque

5.2 Cálculos estadísticos

Las parcelas evaluadas en la vegetación viva del bosque de la comunidad nativa de infierno estableció un promedio de 181.7 tn/ha de carbono almacenado. El error de muestreo alcanzado fue de 11.7 % de toda la evaluación[6]. Para mayor detalle revisar el cuadro 7.

Cuadro 8. Parámetros estadísticos de las parcelas de muestreo de carbono

Parámetro	Valor
N de parcelas	50
Min (tn/ha)	56.4
Max (tn/ha)	376.4
Promedio (tn/ha)	**181.7**
Desviación estándar	74.3
CV %	40.9
Error de muestreo (%)	11.7

[6] MALLEUX. 1982. Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Lima.

VI. Conclusión y discusión

El área total de estudio tiene una extensión de 17,913.5 ha que comprende al bosque de la comunidad de infierno, concesión de ecoturismo y su área de influencia a 2 km.

Con el inventario de carbono se validó la estratificación realizada al área de estudio.

Las parcelas evaluadas en el inventario de carbono fueron un total de 67, de las cuales 50 fueron muestreadas en áreas de cobertura boscosa y 17 en bosque secundario de diferentes años (5-10 años, 10-20 años y más de 20 años).

Se realizó la estimación del carbono almacenado para 4 reservorios de acuerdo a la estratificación del área de estudio. Los reservorios estimados fueron:

- Reservorio aéreo
- Reservorio subterráneo
- Hojarasca
- Carbono orgánico del suelo

De acuerdo a los reservorios estimados para cada estrato podemos determinar que el bosque de aguajal mixto almacena el mayor alto contenido de carbono en tn/ha frente a los demás tipos de bosque del área de estudio.

El área de estudio almacena un total de 3,123,170.3 tn de carbono equivalente a 11,451,624.5 tn de CO_2-e. Revisar el cuadro 8.

Cuadro 9. Carbono almacenado para cada estrato del área de estudio

Estratos	Carbono (tn/ha)	Superficie (ha)	Carbono (tn)	tCO_2-e
Aguajal mixto	242.6	111.6	27,084.8	99,311.1
Aluvial inundable	188.4	3,121.5	588,251.7	2,156,922.7
Terraza baja	184.6	8,532.9	1,575,447.4	5,776,640.6
Terraza disectada suave	151.7	6,147.4	932,386.4	3,418,750.1
Total		**17,913.5**	**3,123,170.3**	**11,451,624.5**

VII. Bibliografía

CHAVE. J; ANDALO. C; BROWN.S; CAIRNS. M; CHAMBERS. J; EAMUS. D; FOLSTER.H; FROMARD. F; HIGUCHI. N; KIRA. T; LESCURE. J; NELSON. B; OGAWA. H; PUIG. H; RIERA. B; YAMAKURA. T. 2005. Tree allometry anda improved estimation of carbón stocks and balance in tropical forests. Ecosystem ecology 146: 87-99.

FREITAS, L; OTARÓLA, E; DEL CASTILLO, D; LINARES, C; MARTINEZ, C; MALCA, G. IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana, PE). 2006. Servicios Ambientales de Almacenamiento y Secuestro de Carbono del Ecosistema Aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria – Loreto. Documento Técnico Nº 29. Iquitos, Perú. 65 p.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. Lima, Perú. 129 p.

IPCC (International Plant Protection Convention). 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS – Capítulo 4: Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto (en línea). Disponible en http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf/spanish/ch4.pdf

_____. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Forest Land. Disponible en http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf

MALLEUX, J. 1982. Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Universidad Nacional Agraria LaMolina. Lima, Perú. 414 p.

PASA, A. s.f. Small holders' Contribution on Climate Change Mitigation and Water Quality: The Case of the CBFM Project in Midwestern Leyte, Department of Agroforestry, College of Forestry and Natural Resources Visayas State University Philippines. 12 p.

PEARSON, T; WALKER S; BROWN, S. s.f. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects BioCarbon Fund – Winrock internacional. USA. 64 p.

_____. 2005. Sourcebook for Land use, Land-use Change and forestry Projects, Winrock international, USA. Disponible en http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock-BioCarbon_Fund_Sourcebook-compressed.pdf.

WALKER, S; BROWN, S. 2007. Procedimientos operativos estándares para la estimación de carbono. Winrock internacional. Virginia, USA. 50 p.

WINROCK INTERNATIONAL. 2006. Carbon Storage in the Los Amigos conservation concession, Madre de Dios, Perú. Winrock International. Massachusetts, USA. 27 p.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de parcelas evaluadas

Cuadro 9. Coordenadas de ubicación (UTM) de parcelas evaluadas en áreas con bosque

Parcelas	Estratos	Este	Norte
1	Aguajal mixto	469900	8583600
2	Aguajal mixto	470100	8584000
3	Aguajal mixto	470700	8584800
4	Aguajal mixto	470998	8585000
5	Aguajal mixto	471103	8585601
6	Aguajal mixto	471300	8585800
7	Aluvial inundable	469700	8581800
8	Aluvial inundable	478700	8589200
9	Aluvial inundable	470102	8590801
10	Aluvial inundable	479700	8590800
11	Aluvial inundable	483499	8593801
12	Aluvial inundable	478300	8597600
13	Aluvial inundable	478900	8597999
14	Aluvial inundable	477902	8598200
15	Aluvial inundable	478699	8599400
16	Terraza baja	467700	8582201
17	Terraza baja	467300	8583200
18	Terraza baja	470900	8584001
19	Terraza baja	469100	8584200
20	Terraza baja	471900	8584400
21	Terraza baja	469909	8585008
22	Terraza baja	472500	8585201
23	Terraza baja	463901	8586002
24	Terraza baja	472100	8586201
25	Terraza baja	464300	8587399
26	Terraza baja	476900	8588200
27	Terraza baja	477500	8589000
28	Terraza baja	472303	8589999
29	Terraza baja	479100	8591600
30	Terraza baja	478900	8592800
31	Terraza baja	479899	8593203
32	Terraza baja	476499	8594600
33	Terraza baja	477699	8594801
34	Terraza baja	473298	8596200
35	Terraza disectada suave	462302	8584602
36	Terraza disectada suave	461701	8585801
37	Terraza disectada suave	466904	8587999

38	Terraza disectada suave	465903	8588602
39	Terraza disectada suave	467099	8589599
40	Terraza disectada suave	463904	8599964
41	Terraza disectada suave	465900	8591000
42	Terraza disectada suave	461700	8591201
43	Terraza disectada suave	467701	8591604
44	Terraza disectada suave	471898	8592201
45	Terraza disectada suave	470501	8592399
46	Terraza disectada suave	473299	8592399
47	Terraza disectada suave	473701	8593398
48	Terraza disectada suave	472701	8593600
49	Terraza disectada suave	475700	8593998
50	Terraza disectada suave	480300	8595603

Cuadro 10. Coordenadas de ubicación (UTM) de parcelas evaluadas en bosque secundario

Parcelas	Estratos	Este	Norte
1	Bosque secundario	474665	8591107
2	Bosque secundario	476286	8593395
3	Bosque secundario	477235	8593041
4	Bosque secundario	474828	8587128
5	Bosque secundario	478377	8593633
6	Bosque secundario	478716	8593618
7	Bosque secundario	475353	8590556

Anexo 2. Resultados de la evaluación de campo

Cuadro 11. Resultados del total de carbono en (tn/ha) de cada parcela evaluada

Parcelas	Estratos	Carbono almacenado en (t/ha) de cada parcela evaluada
1	Aguajal mixto	235.15
2	Aguajal mixto	268.60
3	Aguajal mixto	182.69
4	Aguajal mixto	232.55
5	Aguajal mixto	303.41
6	Aguajal mixto	233.39
7	Aluvial inundable	172.27

8	Aluvial inundable	118.08
9	Aluvial inundable	281.39
10	Aluvial inundable	124.14
11	Aluvial inundable	165.13
12	Aluvial inundable	154.69
13	Aluvial inundable	296.40
14	Aluvial inundable	179.50
15	Aluvial inundable	204.44
16	Terraza baja	186.15
17	Terraza baja	211.27
18	Terraza baja	223.12
19	Terraza baja	163.74
20	Terraza baja	196.76
21	Terraza baja	358.02
22	Terraza baja	147.42
23	Terraza baja	136.97
24	Terraza baja	160.16
25	Terraza baja	226.35
26	Terraza baja	190.19
27	Terraza baja	145.86
28	Terraza baja	376.40
29	Terraza baja	105.45
30	Terraza baja	117.88
31	Terraza baja	107.59
32	Terraza baja	124.80
33	Terraza baja	232.93
34	Terraza baja	96.95
35	Terraza disectada suave	147.33
36	Terraza disectada suave	56.42
37	Terraza disectada suave	176.70
38	Terraza disectada suave	175.67
39	Terraza disectada suave	62.44
40	Terraza disectada suave	166.40
41	Terraza disectada suave	114.89
42	Terraza disectada suave	200.34
43	Terraza disectada suave	222.73
44	Terraza disectada suave	373.41
45	Terraza disectada suave	70.89
46	Terraza disectada suave	117.23
47	Terraza disectada suave	155.93
48	Terraza disectada suave	128.01

49	Terraza disectada suave	139.44
50	Terraza disectada suave	118.90

Anexo 3. Mapas de trabajo de campo

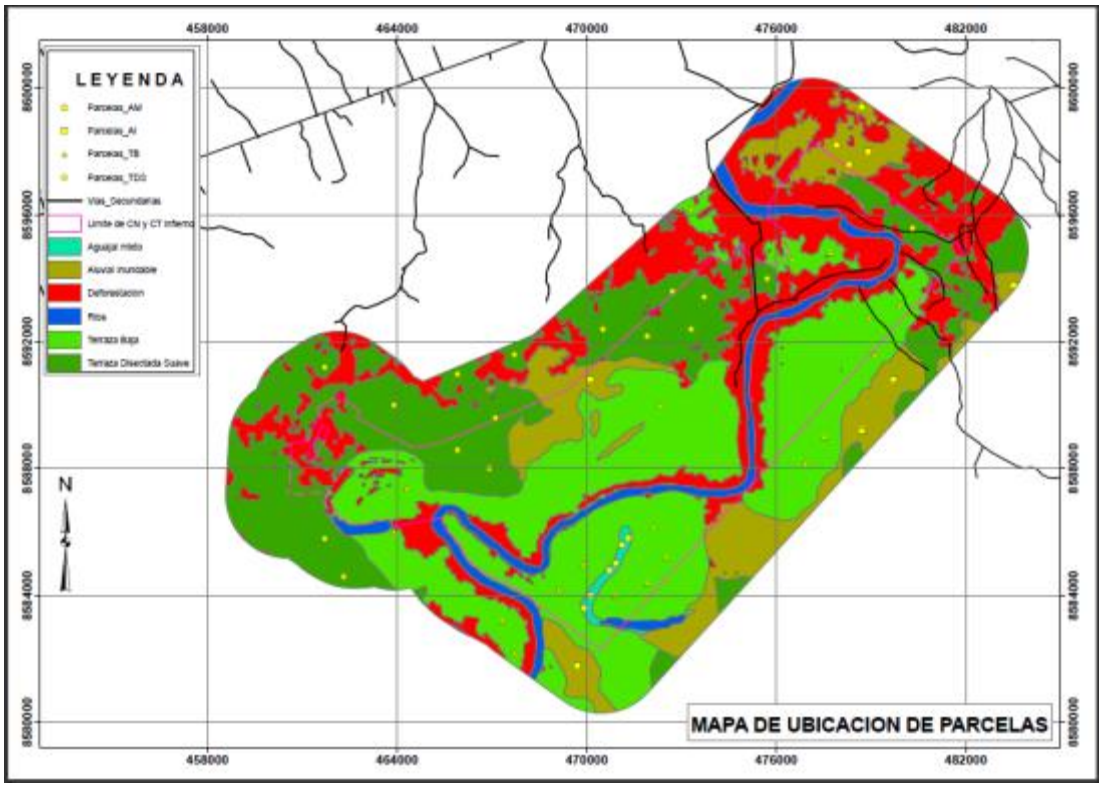


Figura 6. Mapa de distribución de las parcelas de muestreo

Anexo 4. Formatos de evaluación de campo

Formato 1. Formato de evaluación de las parcelas circulares de los radios (5m, 16m y 30m)

Número de parcela							
DAP evaluada	< 5 cm	05-20 cm	20-50 cm	> 50 cm	**Fecha**		
Responsable					**Pendientes (%)**		
Matero					**Hora de inicio**		
UTM	**Gabinete**	**Campo**			**Hora final**		
Este							
Norte					**Desplazamiento**	No	
						Justificar	
Tipo de vegetación							
Mapa					**Azimut**		
Campo				**De parcela evaluada**	**Distancia**		

Nº	**Nombre común**	**Color exudado**	**DAP 1 (cm)**	**DAP 2 (cm)**	**Altura de Árbol o Palmeras**				**OBSERVACIONES**
					Distancia (m)	**% Altura de Estípite (Palmeras)**	**% Altura Total (Árbol)**	**% Base**	

Observaciones:
Justificación por desplazamiento de parcela

Formato 2. Formato de evaluación para el muestreo destructivo del radio de 1m

NÚMERO DE PARCELA:	**FECHA:**	
RESPONSABLE:	**HORA INICIO:**	
PESO HÚMEDO TOTAL DE LA MUESTRA (gr):	**HORA FINAL:**	
TARA DE LA MUESTRA (plástico o soguilla) (gr):		
PESO HÚMEDO DE LA MUESTRA (gr):		
PESO HÚMEDO TOTAL DE LA SUBMUESTRA (gr):		
TARA DE LA SUBMUESTRA (plástico) (gr):		
PESO HÚMEDO DE LA SUBMUESTRA (gr):		
CODIGO DE LA SUBMUESTRA:		

Observaciones:

Formato 3. Formato de evaluación para el muestreo destructivo de la sub parcela cuadra (50cm x 50cm)

NÚMERO DE PARCELA:	**FECHA:**	
RESPONSABLE:	**HORA INICIO:**	
PESO HÚMEDO TOTAL DE LA MUESTRA (gr):	**HORA FINAL:**	
TARA DE LA MUESTRA (plástico o soguilla) (gr):		
PESO HÚMEDO DE LA MUESTRA (gr):		
PESO HÚMEDO TOTAL DE LA SUBMUESTRA (gr):		
TARA DE LA SUBMUESTRA (plástico) (gr):		
PESO HÚMEDO DE LA SUBMUESTRA (gr):		
CODIGO DE LA SUBMUESTRA:		

Observaciones:

Anexo 5. Imágenes del área y el trabajo de campo

Figura 7. Evaluación de muestreo destructivo

Figura 8. Evaluación de hojarasca

ABRIL 2011

INFORME FINAL

TRATAMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT PARA DETERMINAR DEFORESTACIÓN

COMUNIDAD NATIVA INFIERNO MADRE DE DIOS

ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO INTEGRAL - AIDER

Área de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota

RESUMEN

Este trabajo detalla el proceso realizado sobre las diferentes imágenes satelitales *Landsat,* con el fin de analizar e identificar las unidades de deforestación, y tipos de bosque e hidrografía que corresponden al ámbito geográfico de la Comunidad Nativa Infierno en la zona de referencia de la región de Madre de Dios – Perú. Las imágenes fueron seleccionadas, procesadas, georeferenciadas y post-clasificadas con ayuda del equipo forestal, para determinar el mapa de la cobertura y deforestación actual en la zona de estudio.

ABSTRACT

This paper describes the processing performed on different Landsat satellite images, to analyze and identify the units of deforestation and forest types and hydrography under the geographic scope of the Infierno Native Community in the reference area of the region Madre de Dios - Peru. The images were selected, processed, georeferenced and post-classified with the help of forestry equipment to determine the coverage map and current deforestation in the study area

Contenido

1. Introducción 36

2. Ubicación Geográfica..... 37

3. Materiales 37

4. Metodología 38

7. Resultados 46

8. Conclusiones 47

9. Recomendaciones..... 48

10. Bibliografía…….....……...16

1. INTRODUCCIÓN

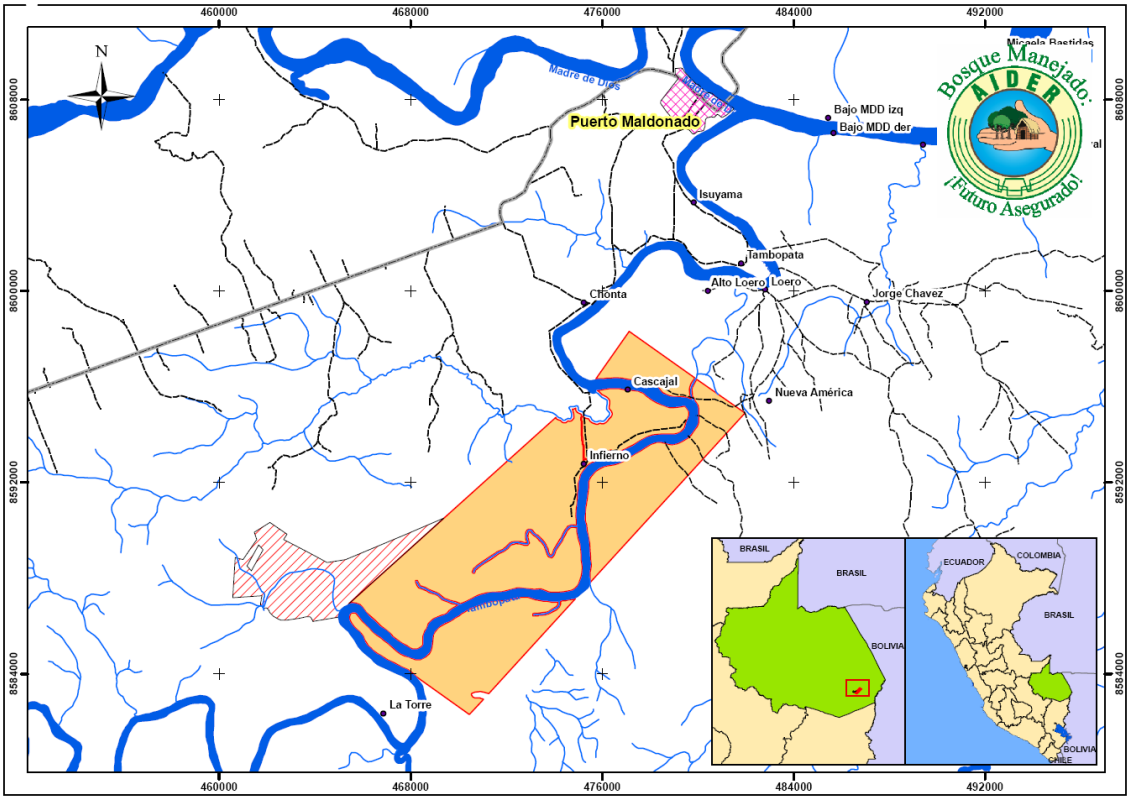
Un paso inicial para el desarrollo de este trabajo fue el de recolectar información sobre las coberturas digitales de tipos de bosque y deforestación en el departamento de Madre de Dios específicamente dentro del área de estudio (Comunidad Nativa Infierno). La mayor parte de la información encontrada son mapas que fueron elaborados por diferentes instituciones que empelaron para su realización, diversas metodologías con el fin de determinar los tipos de bosque y porcentajes de deforestación que había en la región. Es por esta razón que los resultados varían considerablemente y tampoco pueden ser usados para determinar la deforestación acumulada, ya que no pueden ser sumables para tener un registro histórico de las mismas, por lo que, tuvimos que realizar primeramente una clasificación de tipos de bosque y una cuantificación secuencial de la deforestación acumulada de la zona de Madre de Dios bajo una misma metodología y para los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2008 y 2010.

La elaboración de información cartográfica temática multitemporal mediante un proceso digital de imágenes satelitales, es una práctica habitual si se cuenta con una extensa biblioteca de imágenes satelitales. Este proceso de clasificación de imágenes está condicionado, por una parte, a la disponibilidad de imágenes multitemporales y por otro lado, a la calidad y resolución espacial que nos brinden un detalle alto y que es necesario para poder afrontar con éxito la discriminación de clases temáticas.

El objetivo de siguiente trabajo es el definir la metodología de clasificación de imágenes en unidades de bosque y no bosque, basada en el análisis de texturas y reflectancia, analizando su potencial y los principales problemas que deben resolverse para poder aplicar estas técnicas de forma estándar en la generación de una nueva cartografía temática. Para ello usaremos herramientas de la Teledetección y SIG con el fin de determinar la superficie deforestada del área de estudio de los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2008 y 2010

2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La comunidad Nativa Infierno es una comunidad nativa localizada en la Selva sur del Perú, a 19 km. de la ciudad de Puerto Maldonado, en el departamento de Madre de Dios. La comunidad se ubica a ambas márgenes del río Tambopata y colinda con la recientemente creada Reserva Nacional Tambopata.



3. MATERIALES

Equipos

- Equipo de Hardware; CPU con Procesador i7 2.66, Memoria RAM 6GB, Disco Duro 1Terabyte, Monitor LCD 20" Widescreen y disco portátil 250GB.

- Equipo de Software; Licencia de Software de ITT ENVI 4.7, Licencia de Arcgis 9.3.1 y Google Earth Profesional Licenciado.

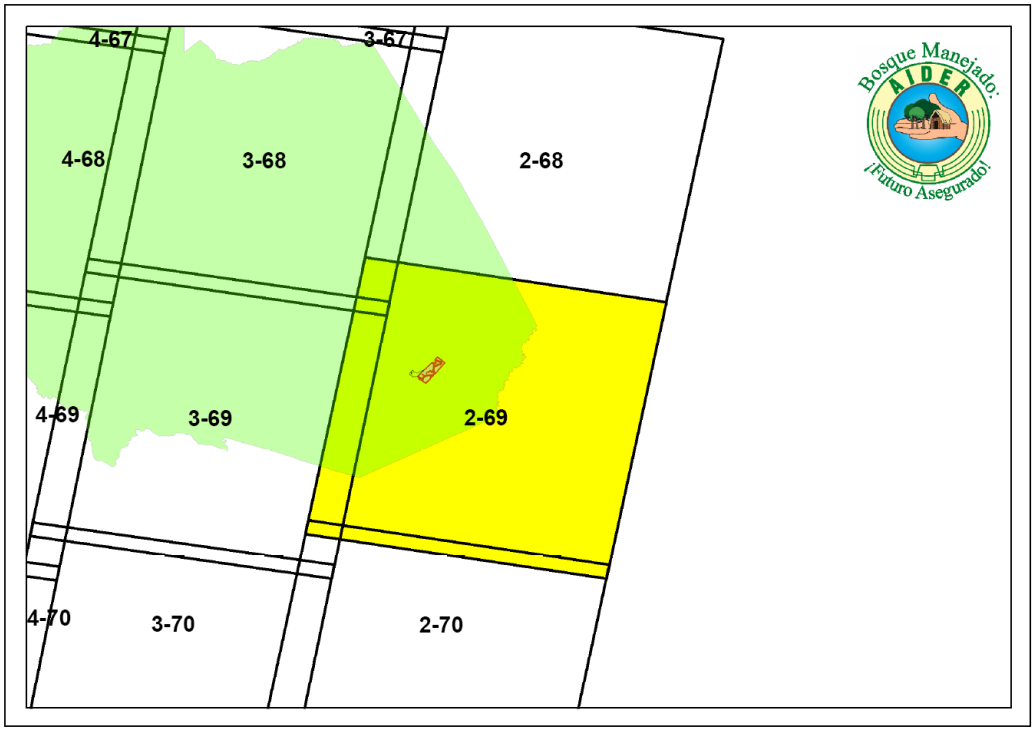
Para lograr descargar rápidamente las imágenes satelitales de cualquiera de las diferentes librerías Landsat, es conveniente el uso de una conexión de Internet que tenga un ancho de banda de 4MB.

4. METODOLOGÍA

4.1. Selección de Imágenes Satelitales

Para la extensión que abarca el área de estudio, se debieron utilizar 6 Path Rows (Figura 1). Estas imágenes procedentes del Satélite Landsat fueron adquiridas en las fechas que se detallan en el cuadro Nº1.

Figura 1. Path Rows empleados para el estudio



Cuadro Nº1 Fechas de adquisición de las imágenes Landsat

Path	Row	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010
2	**69**	01/08/1990	25/04/1995	2001/08/23*	11/09/2005	03/09/2008	06/09/2009	23/07/2010

*Se uso una imagen alternativa, la más cercana a la fecha de muestreo.

Para descargar las imágenes se usaron diferentes fuentes porque en muchos casos tenían problemas de visibilidad a causa de grandes cubiertas de nubes o fallas en la toma. Esta fue la razón de descartar y reemplazar varias de las imágenes. Si después del

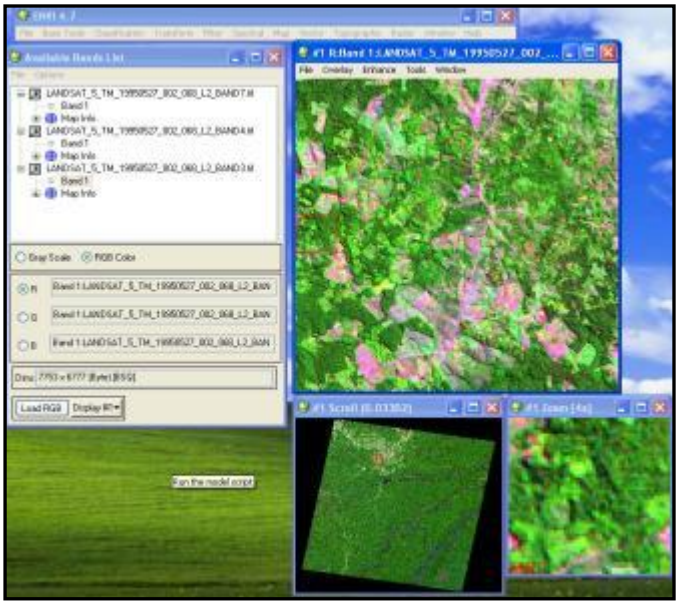
descarte no quedaban imágenes disponibles entonces se usaron algunas imágenes de fechas cercanas.

Las fuentes fueron, la del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Brasil), la The University of Maryland (EEUU) y USGS Glovis: The Global Visualization Viewer.

4.2. Procesamiento de Imágenes Satelitales

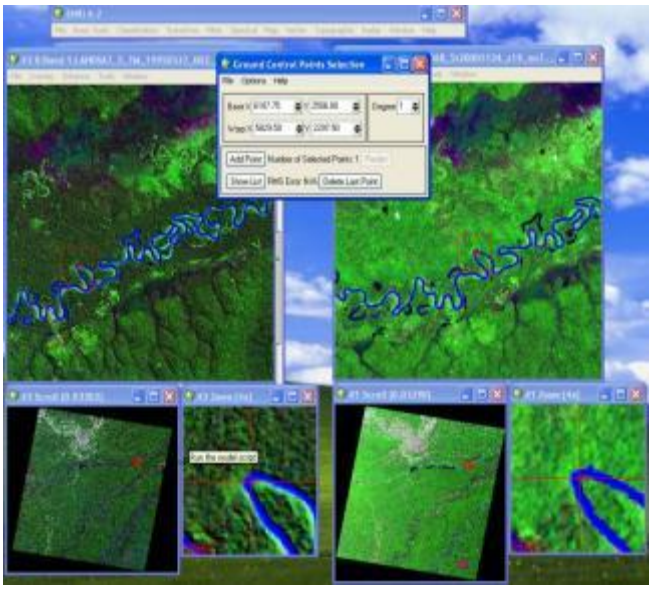
Para el procesamiento de las imágenes satelitales obtenidas se usaron los softwares ENVI 4.7® y ArcGis 9.3.1®. La secuencia metodológica se inicia con la importación y combinación de bandas 5-4-3, obteniendo un único archivo por imagen que, de ser necesario, recibirá un tratamiento particular con el fin de obtener una mejor calidad en la clasificación. (Figura 2)

Figura 2. Unión de Bandas 5-4-3 RGB



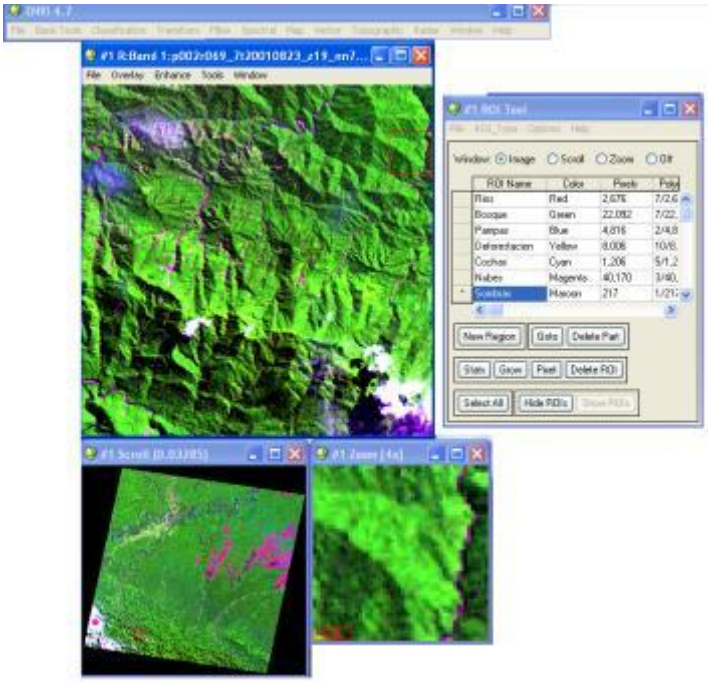
El siguiente paso es el de georeferenciar las imágenes, es decir, ponerlas en una misma referencia espacial (Proyección UTM Zona 19S). Para esto se utilizo una imagen base georeferenciada y ortorectificada.(Figura 3)

Figura 3. Registro de Imágenes (UTM Zona 19S)



Una vez que todas las imágenes se encuentran en una misma proyección se realizo la determinación de las áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada. En esta fase consistió en seleccionar muestras, en forma de zona de pixeles concretos, que fueron asignados por datos de campo (Inventario) y otras asignadas por el usuario, basándonos en el conocimiento que se tiene sobre la imagen y la zona de estudio. (Ver figura 4)

Figura 4. Zonas de Entrenamiento (ROI's)

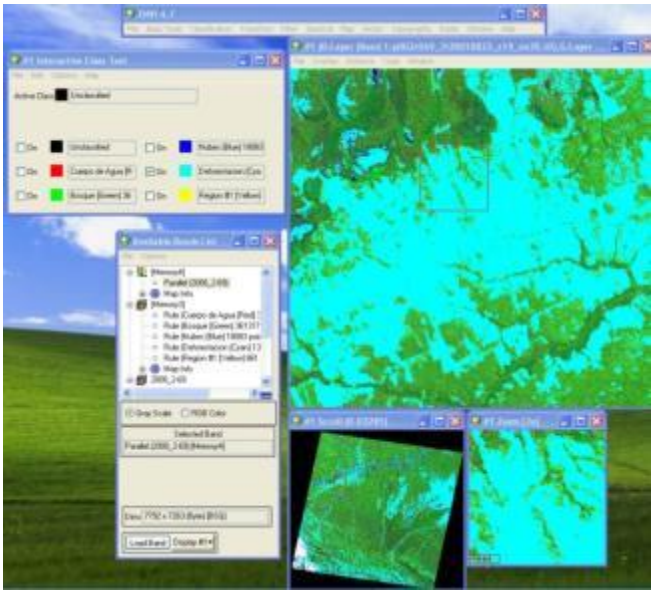


En las categorías asignadas en las zonas de entrenamiento tuvimos las siguientes zonas de muestreo (ROI's).

Tipo
Bosque
Deforestación
Ríos
Cochas
Nubes
Sombras

Ya definidas las zonas de Interés (RIO's) por nuestras localización de puntos de muestreos de campo y por la interpretación visual del equipo de trabajo, se procedió a las pruebas de los clasificadores supervisados, eligiendo el clasificador que realizo una mejor discriminación de clases y que fue el Clasificador Maximum Likelihood. (Figura 5)

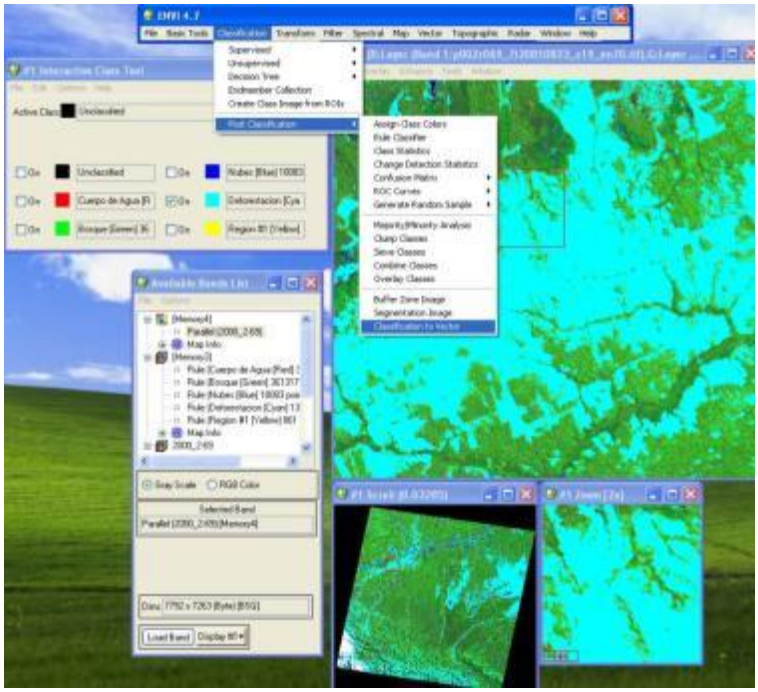
Figura 4. Clasificación Maximum Likelihood



Posteriormente se realizo una post-clasificación de formato Sieve Classes, para poder resolver los problemas de los pixeles aislados.

Luego de haber clasificado el área de estudio, se realizo una separación de la clase de deforestación para poder convertirla en formato vector (Evf), para su posterior exportación a formato Shapefile (Shp). Figura 6

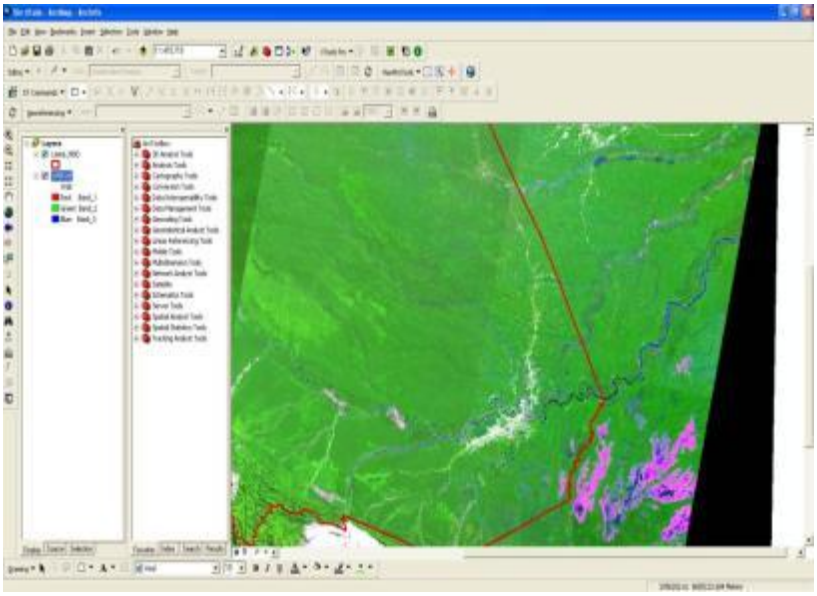
Figura 6. Exportación de a Formatos vectoriales



Subsiguientemente se dispusieron de todos los Path Row's de la zona de Estudio, para generar el mosaico, con la intención de posteriormente llevarlo a un software de edición (*Arcgis 9.3.1*).

Una vez exportado nuestra clasificación de deforestación a formato vectorial se procedió a la cargar la imagen conjuntamente con el archivo vectorial, procediéndose a editar con respaldo de la imagen combinada (5-4-3 RGB), para discriminar una clasificación visual por los operadores (Equipo de Trabajo), en una escala visual de 1: 30 000. (Figura 7)

Figura 7. Mosaico del Área de Estudio.



Cabe resaltar que en ciertos años se encontró imágenes con nubes, por lo cual se utilizó la imagen anterior y posterior más cercana para determinar su cobertura.

7. Metodología de Tipos de Bosque:

7.1 Búsqueda y recopilación de información.

Dada la extensión del área de estudio, se debió utilizar 1 Path Row, el mismo que se utilizó para la determinación de deforestación 2010.

Así mismo se realizo con el apoyo de imágenes de alta resolución obtenidos del software Google Earth Profesional para una mayor exactitud en la clasificación de tipos de bosque.

7.2 Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite.

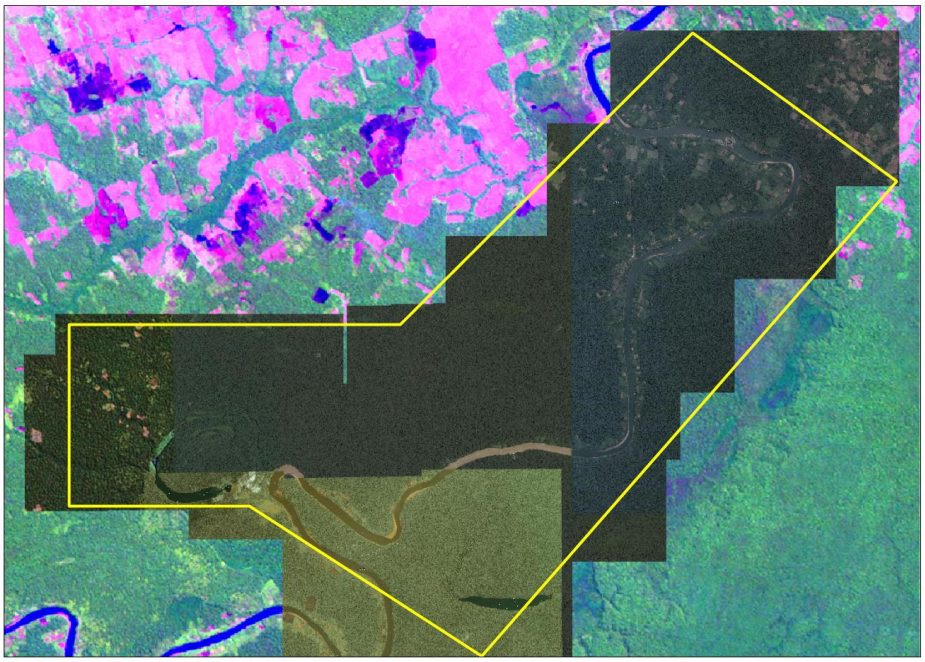
Las imágenes de satélite fueron inicialmente tratadas con ayuda del software ENVI. Se realizó una combinación de las tres bandas multiespectrales 5,4 y 3 para que se pueda realizar con mayor facilidad la interpretación visual y clasificación.

No fue necesario corregir geométricamente las imágenes debido a que las imagernes ya se encontraban con el proceso de ortorectificadas.

Seguidamente se descargaron Imágenes del Software Google Earth Profesional a una altura de 156 metros con una resolución de 4800 por 2821dpi.

Posteriormente se realizo el tratamiento de georeferenciación de las imágenes descargadas en el software Arcgis 9.3.1 con la función Georeferencing, introduciendo 8 puntos de control por cada imagen descargada, usando como referencia las imágenes Landsat Ortorectificadas.

Figura 8. Imágenes Descargadas Google Earth Profesional



7.3 Interpretación visual.

Para la interpretación visual no se uso ningún tipo de clasificador digital porque consideramos que se deben conjugar varios factores como la textura, la fisiografía, entre otros para determinar mejor las unidades.

Como lo menciona Euler (Huerta, 2008)7, la clasificación visual es el método más eficaz de cartografiado forestal, sin embargo señala que sus limitaciones son: es en cierta medida subjetiva, puede variar según la experiencia del intérprete y de su conocimiento del sitio cartografiado y puede ser no repetible, y que por lo tanto es necesaria una evaluación en el terreno para confirmar la precisión del cartografiado. Además, algunos factores temporales como las condiciones climáticas, las variaciones estacionales de la vegetación y la presencia de nubes pueden afectar el proceso de interpretación.

[7] Huerta P. 2008 Procesamiento de imágenes de satélite para SFMBAM. Lima. Perú

La escala en la que se trabajo fue de 1:15000 pudiendo aumentar en zonas que se requería mayor detalle.

Figura 9. Clasificación de Tipos de Bosque

8. RESULTADOS

Después de un minucioso trabajo de discriminación de áreas de deforestación y zonas hidromórficas, se obtuvo los mapas finales de deforestación del año 1990, 1995, 2000, 2005, 2008, 2009 y 2010.

Como se aprecia en las clasificaciones es muy notorio como la deforestación ha ido incrementándose a lo largo de todos estos años y la velocidad con que avanza.

Las imágenes Landsat tienen una resolución aceptable, pero, para facilitar el análisis de las imágenes hubiera sido recomendable trabajar con aquellas que tengan una mejor resolución espacial y de esta forma la clasificación de deforestación hubiera sido aún más precisa en la serie de años.

Como Resultado de la Interpretación Visual con apoyo de las imágenes de alta resolución descargada con el software Google Earth Profesional se pudieron Obtener las siguientes clases:

- Agricultura / Deforestación
- Aguajal
- Bosque Primario
- Bosque Secundario / Pastos
- Centros Poblados
- Hidrografía
- Vías

9. CONCLUSIONES

- La utilización de imágenes multitemporales es muy útil para la estimación de superficies de zona de deforestación muy dinámicas. La moderada resolución espacial de las imágenes Landsat limitan la obtención de resultados más precisos.
- Mediante diferentes técnicas y pruebas se logro diferenciar;
    - Deforestación y Bosque.
    - Áreas Hidromórficas.
    - Cauce de ríos afluentes a Madre de Dios.
- El análisis para determinar elementos de deforestación con las Imágenes Landsat solo permitió definirla en dos tipos, (Bosque y No Bosque). Esto se debe a la poca cantidad de información que aportan las imágenes.
- Los datos obtenidos en este trabajo, permitirán extrapolar espacialmente los indicadores de deforestación y así, tener una base la poder modelar la deforestación en el área de estudio en los próximos años y de esta manera, iniciar acciones que la disminuyan.
- Las Clases obtenidas con el apoyo de las imágenes de alta resolución, apoyaron altamente a la clasificación, lamentablemente aun se uso el soporte de la imagen Landsat, debido a que las imágenes del Software Google Earth son de fechas 2007 y se necesitaba una clasificación al año 2010.

10. RECOMENDACIONES

- En este momento se debe realizar un proceso de validación y corrección de resultados de clasificación por medio de la verificación de campo y con la participación de conocedores locales para obtener un mapa de cobertura final que permita realizar los análisis de causas antrópicas en los procesos de deforestación en la Zona de Estudios

- Es necesario continuar monitoreando los cambios que se están produciendo en esta zona, usando otros tipos de sensor como satélites de alta resolución para poder complementar con estos resultados.

- Incluir en los futuros presupuestos la adquisición de imágenes actuales en alta resolución.

11. BIBLIOGRAFÍA

- **E. Chuvieco, (1996);** Fundamentos de la Teledetección Espacial. 3era. Edición

- **E. Chuvieco, (2008);** Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra desde el Espacio. 1era. Edición.

- **Song, C,. Woodcook, C. (2001).** Classification and change detection using Landsat TM data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, vol 75.

- **Vázquez, Pablo M., Masuelli, Sergio y Gabriel Platzeck (2006).** Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos. XII SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER: SIG y Percepción Remota aplicados a "Riesgos Naturales y Gestión del Territorio. 10 p. Colombia

- **Jiménez, J. y García, N. (1982):** Introducción al Tratamiento Digital de Imágenes, Centro de Investigación UAM-IBM, Madrid.