

Protocolo

Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación



Centro de Documentación Ambiental - Catalogación de la fuente

333.75

P45

Perú. Ministerio del Ambiente

Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación

Dirección General de Ordenamiento Territorial -- Lima: Ministerio del Ambiente, 2014.

32 p.: il.

PROTOCOLOS 2. BOSQUES 3. DEFORESTACION 4. PERÚ I. Perú. Ministerio del Ambiente.

Dirección General de Ordenamiento Territorial. II. Título.

CDD 333.75 P45

PROTOCOLO EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD
TEMÁTICA DEL MAPA DE DEFORESTACIÓN

Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N° 1440
San Isidro, Lima-PERÚ

Primera Edición - Febrero 2014

Tiraje: 1000 ejemplares

Fotografías: Archivos MINAN

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014 - 02806

Diseño e impreso por: Burcon Impresores y Derivados SAC

Calle Bernardo Alcedo 549 - Lince / Telf.: 470 0123

gerencia@burconsac.com

La presente publicación fue elaborada con materiales 100% reciclados.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Protocolo



Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación

Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT)

El presente documento describe el procedimiento a seguir por el Equipo del SIGMINAM-DGOT del Ministerio del Ambiente de Perú, para evaluar el mapa resultante del análisis de cobertura de bosque, cambio de bosque-no bosque y degradación forestal. El protocolo contempla la aplicación de imágenes de alta resolución, supervisión de campo y el análisis correspondiente para obtener los porcentajes confianza y la determinación de los valores de precisión y error correspondiente.

EQUIPO TÉCNICO

EQUIPO PROFESIONAL - DGOT

- William Llactayo León *Especialista SIG, Responsable Técnico*
- Eloy Victoria Ayala *Especialista SIG, Análisis de Sensores Remotos*
- German Marchand Laynes *Especialista SIG, Análisis de Sensores Remotos*
- Alex Montero Pérez *Especialista SIG, Base de Datos y Programación*
- Witman García Correa *Especialista SIG*
- Kelly Salcedo Padilla *Analista SIG y Teledetección Espacial*

Apoyo Técnico

- Judith Schleicher *Universidad de Cambridge*

ASESORAMIENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO

- Instituto CARNEGIE para la Ciencia – Departamento de Ecología Global

Título	Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación	Código
Autor(es)	Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E.	
Fecha de creación	Lima, 23 diciembre 2013	N° rev
Revisor	William Llactayo León	1
Fecha de revisión	26 diciembre 2013	
N° pag	32 estado revisado	

CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	09
2. OBJETIVO GENERAL	10
3. OBJETIVO ESPECIFICOS	10
4. DEFINICIONES Y CONCEPTO	11
4.1 Exactitud temática	11
4.2 Bosque	11
4.3 Deforestación	11
4.4 Degradación del Bosque	12
4.5 Crecimiento secundario	12
4.6 Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque-No Bosque	12
4.7 Degradación del Bosque	12
4.8 Precisión	12
4.9 Exactitud del productor	12
4.10 Exactitud del usuario.....	12
4.11 Nivel de confianza.....	12

5. PROCEDIMIENTO	13
5.1 Descripción	13
5.1.1. Selección del área de referencia	13
5.1.2. Diseño del muestreo	13
5.1.3. Análisis de datos	14
5.2 Etapas	14
5.2.1. Etapa 1: Validación con imágenes de mayor resolución	14
5.2.2. Etapa 2: Validación en Campo	21
ANEXOS	
Anexo 1. Matriz de datos de campo	28
Anexo 2. Instrucciones para construcción de Densímetro	29

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de la cobertura de bosque, cambio de bosque a no bosque y degradación forestal en el ámbito de los Bosques del Perú; comprende la evaluación espacio-tiempo de los cambios en estos tres conceptos mencionados y que el MINAM viene trabajando para el periodo 2000-2005-2009-2010-2011 como punto de partida para el monitoreo de la conservación de los bosques en el Perú y comprende el uso de las imágenes de satélite y procedimientos semi automatizados con aplicación de software¹, a partir del cual se elabora los reportes de mapas y estadísticas multitemporales que es necesario validar tomando en cuenta su confiabilidad, precisión y error asociado. El resultado de este proceso de validación se denomina **Exactitud Temática**².

La evaluación de la exactitud temática de los mapas obtenidos forma parte del proceso de monitoreo que MINAM viene implementando y a través del mismo será

posible la comparación de resultados multitemporales, la comparación entre métodos de análisis de deforestación y el cálculo de los escenarios de referencia de deforestación nacional y márgenes de aproximación en las cuentas de emisiones de GEI; entre otras.

Finalmente, para la elaboración del presente protocolo de evaluación de la exactitud temática del Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque-No Bosque de la Amazonía Peruana se ha tenido en consideración los estándares internacionales ISO 19113: Principios de la calidad; ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad e ISO 19138: Medidas de calidad de la información geográfica. Asimismo, los conceptos, método, procedimiento y resultados esperados de la aplicación del presente documento son compatibles con las recomendaciones de las Guías del IPCC (Capítulo 5, Sección 5.3.4.1 y Capítulo 2, Sección 2.4.4.1)³.

1. El proceso de análisis de cobertura de bosque, cambio de bosque y degradación forestal se encuentra descrito en el Protocolo de Clasificación de imágenes para el Monitoreo de Deforestación y Degradación Forestal, DGOT-SIGMINAM.
2. Según ISO 19113, “exactitud temática es la exactitud de los atributos cuantitativos o no cuantitativos de la correspondiente clasificaciones de los elementos y de sus relaciones”. Eso es aplicable por ejemplo para el caso de clasificaciones de imágenes satelitales. De acuerdo a la STNNIG-Colombia, la exactitud temática describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica representadas en el mundo real.
3. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS.

2. OBJETIVO GENERAL

Implementar un mecanismo de validación de los resultados del proceso de monitoreo de la cobertura de bosque, cambio de bosque-no bosque y degradación forestal.

3. OBJETIVO ESPECIFICOS

- Determinar espacialmente la superficie de validación basado en la confluencia de los frentes de uso y cambio de uso de la tierra para la aplicación del método de validación.
- Diseñar la muestra espacio-tiempo teniendo en cuenta la verificación de puntos de observación/validación con aplicación de imágenes de alta resolución y supervisión de campo.
- Evaluar la exactitud temática de los resultados a través de las medidas de exactitud, precisión y error.

4. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

4.1 EXACTITUD TEMÁTICA

Describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica representadas en el mundo real y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones de acuerdo con las especificaciones del producto⁴.

4.2 BOSQUE

Ecosistema natural complejo de seres vivos, microorganismos, vegetales y animales que se influyen y relacionan al mismo tiempo y se subordinan al ambiente dominante de árboles; que se extiende por más de 0.5 ha dotadas de árboles de una altura superior a 2 metros o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ, y una cubierta superior al 10 por ciento⁵.

Sin embargo, dado que en Perú aún se encuentra en discusión una definición nacional de bosque se tiene otras referencias claves sobre este concepto, así *FAO*, define Bosque como las “tierras que se extienden por más

de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 mt y una cubierta de copas superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano .

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CNUCC)⁷, define Bosque como “superficie mínima de tierras de entre 0,5 y 1,0 hectáreas (ha) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) que excede del 10 al 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 metros (m) a su madurez *in situ*”.

4.3 DEFORESTACIÓN

Es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del diez por ciento⁶.

La CNUCC define deforestación como “la conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierra no forestales”⁷.

4. Concepto extraído del documento de la Secretaría Técnica Nacional de Normalización de Información Geográfica (Colombia)-Información Geográfica-Comité Técnico INCOTEC 0034, del anteproyecto de Norma de Calidad, pag-14

5. Esta definición resulta de la adaptación de la definición de FAO y del DL 1090 (derogada) y que fue propuesta por MINAM el 28 de marzo del 2011 y ajustada el 26 junio del 2012 (Acta).

6. FAO (2005); Informe de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005; términos y definiciones.

7. CNUCC (2002); Informe de la Conferencia de las Partes 7mo Periodo de Sesiones celebrado en Marrakech en Noviembre del 2001, Adición sobre medidas adoptadas por la Conferencia; FCCC/CP/2001/13/Add.1

4.4 DEGRADACIÓN DEL BOSQUE

Cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura o función del rodal o sitio y, por lo tanto, disminuyen la capacidad de suministrar productos y/o servicios^{6, 8}.

4.5 CRECIMIENTO SECUNDARIO

Incrementos en la cobertura boscosa y en la biomasa luego del aclaramiento y abandono del bosque⁹.

4.6 MAPA DE COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE-NO BOSQUE

Es la representación cartográfica de los resultados del análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque en periodos determinados.¹⁰

4.7 EXACTITUD

Es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica¹¹.

4.8 PRECISIÓN

Es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica. Se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas. La precisión es inversamente proporcional al error¹².

4.9 EXACTITUD DEL PRODUCTOR

Porcentaje de elementos bien clasificados para cada clase. Indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada.

4.10 EXACTITUD DEL USUARIO

Valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase.

4.11 NIVEL DE CONFIANZA

Corresponde a un rango que incluye el valor real de un parámetro desconocido con un nivel de confianza determinado (probabilidad). Normalmente se utiliza un intervalo de confianza del 95%, es decir, que existe una probabilidad del 95% de incluir un valor verdadero¹².

8. CARNEGIE 2010, acota que la degradación se interpreta a través de la perturbación del bosque, cuando esta alcanza el nivel que suprime el almacenamiento de carbono y otros servicios del ecosistema.

9. Referencia al concepto tomado de la Guía del usuario CLASlite, Sección Glosario.

10. Definición propuesta por el equipo de analistas del SIGMINAM-DGOT.

11. Evaluación de la exactitud temática de productos cartográficos sobre deforestación histórica; IDEAM, Febrero 2011 (Documento Borrador); Bogotá-Colombia.

5. PROCEDIMIENTO

5.1 DESCRIPCIÓN

La evaluación de la exactitud temática a través del cual se validará los resultados del Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a No Bosque se basa en los siguientes tres aspectos (Stehman y Czaplewski en 1998)¹²:

5.1.1. Selección del área de referencia

Es el área o superficie factible de ser evaluada en el campo. Para el caso de la Amazonía Peruana que representa la superficie de análisis total, la selección del área de referencia tiene en cuenta algunos criterios fundamentales como son: intensidad de los cambios de bosque a no bosque, accesibilidad, costos, entre otros. En el caso de la evaluación de la exactitud con imágenes de alta resolución no se define un área de referencia, dado que en teoría toda la superficie de análisis total debe ser evaluada, sin embargo el área de referencia que se determina para la evaluación de campo puede guiar la elección de las imágenes que se requieren obtener para tal evaluación.

5.1.2. Diseño del muestreo

Es el proceso por el cual se define el número de muestras y/o la distribución de las mismas teniendo en cuenta la superficie de análisis total o el área de referencia según sea el caso, asimismo los estratostemáticos y grado de confianza con el que se quiere evaluar.

12. Estos tres aspectos son mencionados en el documento de Validación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM-COLOMBIA), donde hacen referencia a los autores Stehman y Czaplewski en 1998, quienes para la evaluación de la precisión se basa en : Selección de la muestra, Diseño de la muestra y el Análisis de datos.

5.1.3. Análisis de datos

Comprende el desarrollo de la matriz de confusión y el cálculo de las diversas medidas de exactitud, precisión y error.

5.2 ETAPAS

La evaluación de la exactitud temática del Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a No Bosque, comprende dos etapas:

- Etapa 1: Validación con imágenes de mayor resolución
- Etapa 2: Validación de campo

5.2.1. Etapa 1: Validación con imágenes de mayor resolución

Las imágenes de mayor resolución permiten desarrollar el análisis visual con detalle y por tanto posibilitan la comprobación de los resultados obtenidos de la clasificación con imágenes de mediana resolución (LANDSAT TM, ETM, LANDSAT 8) usadas para elaborar el Mapa de Deforestación.

Asimismo, el uso de imágenes de mayor resolución en el proceso de validación del mapa permite observar áreas de difícil acceso y resulta complementario al proceso de validación de campo, reduciéndose el tiempo de validación.

Del mismo modo se incluyen los datos LIDAR, información de los sobrevuelos realizados en colaboración con el Instituto Carnegie para la Ciencia del Departamento de Ecología Global.

Para el procedimiento establecido en esta etapa se toma en cuenta lo siguiente:

5.2.1.1. Selección del área de referencia

La selección de las muestras de referencia será distribuida en todo el ámbito de análisis¹³, siguiendo los siguientes pasos:

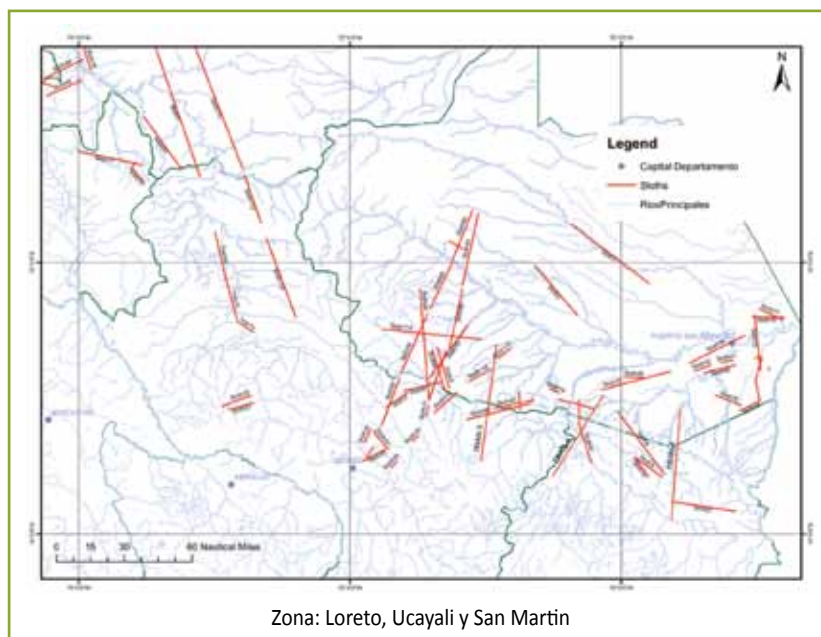
Área o superficie de muestreo serán las que representen cada ventana de las imágenes de alta resolución identificadas para el análisis. Las imágenes de alta resolución de cualquiera de los sistemas comercialmente disponibles tales como Geoeye, Ikonos, Quickbird, Wordview, o similar.

Los criterios para seleccionar el tipo de sistema sensor son:

En este caso el área de referencia es la superficie total de análisis sobre las cuales se distribuirá las ventanas de imágenes de mayor resolución a ser evaluadas.¹³

Los criterios para seleccionar las ventanas de las imágenes de alta resolución para la validación son:

- Deben estar distribuidas en la superficie total de análisis siguiendo algunos criterios como: diseño estadístico, representatividad, disponibilidad de imágenes, áreas de mayores cambios de cobertura, etc.
- Deben corresponder al mismo año de las imágenes procesadas para el análisis de bosque y deforestación (Landsat TM, ETM, Landsat 8).



13. El área de referencia si bien se da en toda el área de análisis, hay que tomar en cuenta la disponibilidad de imágenes de alta resolución.

- Porcentaje de nubes menor a 10%.
Las imágenes de mayor resolución en lo posible deberían contener menor cobertura nubosa para cubrir áreas de validación.
- Deben ubicarse de preferencia en áreas de difícil acceso, para complementar con la validación realizada en campo.

Respecto a los datos de LIDAR que fueron producidos por las campañas de CARNEGIE serán verificados teniendo en cuenta las líneas de sobrevuelos realizados en la Amazonía Peruana.

5.2.1.2. Criterios para la selección del tipo de sensor y ventana de imágenes

El diseño de los puntos de muestreo contempla la determinación del tipo de las unidades de muestreo, del método de selección de las mismas, así como del número de unidades de muestreo necesarias.

■ La unidad de muestreo

La unidad de muestreo permite relacionar la localización de la información del mapa y del terreno.

La unidad de muestreo a utilizar será un punto, la cual compara la clasificación del mapa con relación a este punto con la misma localización en el terreno; en la práctica, el punto será evaluado en una superficie alrededor del punto, esta área será dentro de un pixel de 30 x 30.¹⁴

■ Método de muestreo

El método de muestreo a utilizar será la de aleatorio sistemático no alineado estratificado, en la que la muestra se realiza dividiendo a la población en estratos, con base en una o más variables auxiliares, la cual

podría ser facilidad de acceso como la red vial y los ríos navegables. Éste método permite tener cierto control sobre la distribución de los sitios de muestreo y obtener información sobre los conjuntos de la clasificación.

■ Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra estará referido al número de puntos de muestreo que se utilizarán para estimar la confiabilidad del mapa. Entre mas grande sea el tamaño de la muestra, mas precisa será la evaluación; sin

Clase	Superficie (ha.)	Porcentaje (P)
Bosque	A	% A
No Bosque	B	% B
Deforestación	C	% C

TABLA 1: Clases a partir del cual se calcula los puntos para la validación.

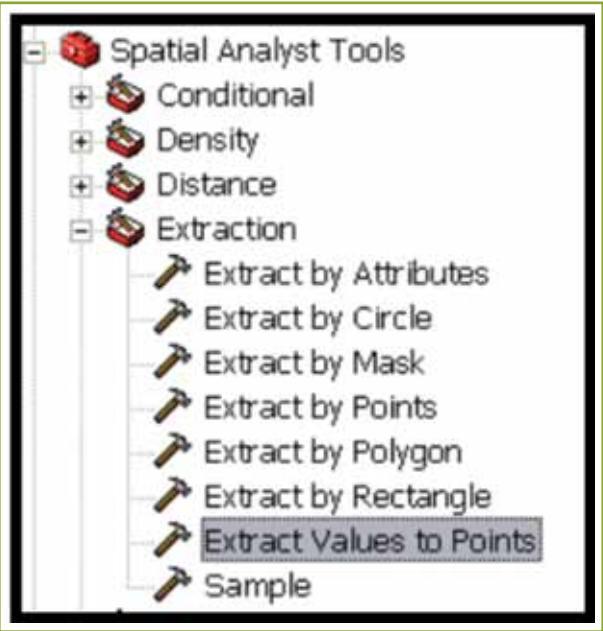
La distribución de los puntos se puede realizar con el uso de la herramientas SIG *Hawth's Analisis Tools* de ArcGIS o similar y cada distribución debe hacerse para cada clase del mapa.

embargo por razones de costo y tiempo es conveniente determinar el tamaño de muestras mínimas para alcanzar nuestro objetivo de evaluación.

El cálculo de los puntos de muestreos aleatorios que se deben verificar en las imágenes de alta resolución se obtiene de acuerdo con la fórmula establecida por Cochran-1977¹⁵ en donde se establece que estadísticamente para los datos categóricos el número de puntos de verificación depende de tres variables:

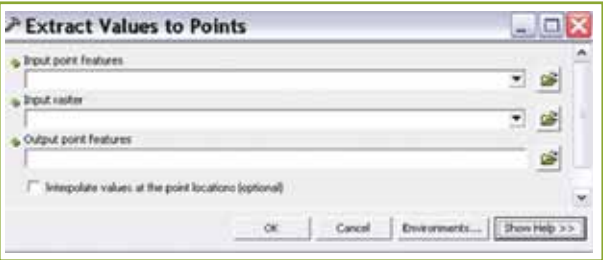
14. Janssen y Van der Wel - 1994.
15. Actualmente diversos proceso de validación se realizan apoyados en Cochran en virtud de que relaciona la superficie de diversos estratos temáticos con el número de muestras necesarias para llegar a un porcentaje de confianza definida por el productor.

- S: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos.
- P: indica el porcentaje de aciertos estimados, establecido por el área de la clase.
- Q: el porcentaje de errores estimados.



- E: el nivel permitido de error.

$$N = \frac{S^2 \cdot p \cdot q}{E}$$



La cantidad de puntos se calcula para cada clase establecida del mapa de cobertura de bosque y de deforestación teniendo en cuenta un valor de confianza de 95%, con la finalidad de obtener puntos heterogéneos y distribuidos en toda el área de validación, como se observa en la Tabla 01, se calculará las áreas de cada clase y los porcentajes que representan del total del área, que para la formula antes mencionada toma el valor de P.

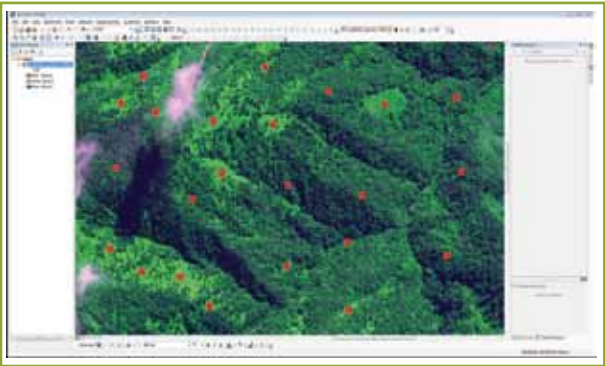


Tabla de Atributos del Shape de Puntos de Muestreo con Imágenes de alta Resolución				
Id_sig	cobertura_ mapa	cobertura_ observada	verificación	observaciones

La obtención de los puntos de muestreo para cada ventana de la imagen de mayor resolución se realizará con el siguiente procedimiento:

- a) Se determina los puntos para cada ventana de imagen de mayor resolución de acuerdo a la fórmula de Cochran. Recordar que estas ventanas están distribuidas en todo el ámbito de análisis (Amazonía Peruana).
- b) Proceder a distribuir los puntos de manera aleatoria para cada estrato a evaluar usando las herramientas SIG com Hawth's Analisis Tools o similar.
- c) Distribuidos los puntos se procede a la extracción de los datos de la clasificación en los puntos de muestreo.

Para este paso se puede utilizar ArcGIS, seleccione **Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract Values to Points**.

En la ventana que se abre, especifique los *puntos de muestreo* en **Input Point Features**, la imagen clasificada en **Input raster**, y asigne un nuevo nombre a los nuevos puntos que cargaran los valores de la imagen en **Output point Features**.

En el proceso se generará los puntos de muestreo con los datos de clasificación (1=Bosque, 2= No Bosque 3= Deforestación).

- d) Después de haber generado los puntos de muestreo y con el apoyo del ArcGIS se superpone los puntos de muestreo con la las imágenes de alta resolución y se comienza a la verificación de las clases bosque, no bosque y deforestación.
- e) Para la verificación de los puntos, este debe contener en su tabla de atributos los siguientes campos.

Donde:

ID_SIG: es el código asignado a cada punto.

Cobertura Mapa: en este campo se describe a las clases que se tienen bosque, no bosque y deforestación.

Cobertura Observada: en este campo se describirá lo que se observó en las imágenes de alta resolución y de los datos de las líneas de sobrevuelo, sea bosque, no bosque y deforestación.

Verificación: este espacio será llenado si coinciden los campos de cobertura_mapa y cobertura_acertada con una letra V y F si es lo contrario.

Observaciones: el campo será llenado con las observaciones del usuario crea conveniente.

- g) Al finalizar con la verificación de los puntos de muestreo procedemos a exportar los datos a una tabla de Excel

Open Attribute Table Seleccione Options>Export y asigne un nombre y direccionamiento de los datos obtenidos.



5.2.1.3. Análisis de los datos

El análisis de datos se evaluará a través de una matriz de confusión, que determinará la confiabilidad del mapa y los errores de omisión y comisión, dicho análisis será después de la interpretación visual realizada con las imágenes de alta resolución, en donde se contrasta los resultados de la interpretación visual con los datos del mapa de deforestación contenidos en la tabla de atributos de la capa SIG de puntos de muestreo.

5.2.1.3.1. Matriz de confusión

Se elaborará la matriz de confusión que responde al diseño que se muestra en la Tabla 2, en esta matriz las filas representan generalmente las clases de referencia y las columnas las clases del mapa clasificado. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación para los cuales hay concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras los marginales indican errores de asignación.

De la matriz se desprende los siguientes datos:

Clases bien estimadas: expresa la confiabilidad del mapa y es la sumatoria de los puntos correctamente asignados **(A1, A2 y A3)**.

Total de clases: es el número total de los puntos de muestreo que son evaluados en la matriz de confusión y que representa de la matriz el valor de **M**.

Total: de los resultados de la clasificación y de referencia representan la sumatoria de los valores para cada una de las clases **(R, S, T, A, Y, Z)**.

A partir de la matriz de confusión se calculan las siguientes medidas:

Medidas de precisión

- *Error de comisión:* Indica la probabilidad de que el usuario del mapa encuentre información incorrecta durante su uso.

Error de comisión = 1 – Exactitud del Usuario

REFERENCIA RESULTADOS							
Resultados de Clasificación	Clase	Bosque	No bosque	Deforestación	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	Bosque	A1	A2	A3	(A1+A2+A3)= X	EU1	EC1
	No bosque	B1	B2	B3	(B1+B2+B3)= Y	EU2	EC2
	Deforestación	C1	C2	C3	(C1+C2+C3)= Z	EU3	EC3
	Total	(A1+B1+C1)= R	(A2+B2+C2)= S	(A3+B3+C3)= T	M		
	Exactitud Productor	EP1	EP2	EP3			
	Error Omisión	EO1	EO2	EO3			

TABLA 2: Matriz de confusión para el proceso de validación con imágenes de alta resolución y datos de las líneas de sobrevuelo.

Por ejemplo: $EC1 = 1 - EU1$

- *Error de omisión*: Indica en qué medida el productor del mapa representó incorrectamente los rasgos del terreno

Error de omisión = 1- Exactitud del Productor.

Por ejemplo: $EO1 = 1 - EP1$

Métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases

Conjunto de medidas que permiten determinar la probabilidad de que una clase de referencia haya sido clasificada en el mapa y represente esa clase en la realidad.

- Exactitud del usuario: Valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase.

Exactitud del Usuario = número de coincidencias/ total

Por ejemplo: $EU1 = A1/R$

- *Exactitud del productor*: porcentaje de elementos bien clasificados para cada clase en las columnas. Indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada.

Exactitud del Productor = número de coincidencias/ total

Por ejemplo: $EP1 = A1/R$

5.2.1.3.2. Métrica para evaluar la precisión del Mapa (Índice de Kappa)

El índice de Kappa es la proporción de coincidencias obtenidas en un producto cartográfico sustrayendo aquellos generados de forma fortuita.

Es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un software y la exactitud de lograr una clasificación correcta con una clasificación visual (en campo o con imágenes de alta resolución).

$$K = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

Siendo:

Po = Número de aciertos/ Número total de clases

$Po = (A1 + B2 + C3) / M$

Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión.

$Pe = (EP1 \times EU1) + (EP2 \times EU2) + (EP3 \times EU3)$

A la hora de interpretar el valor de κ es útil disponer de una escala como la siguiente:

Coefficiente de Kappa (k)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

TABLA 3: Valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977).

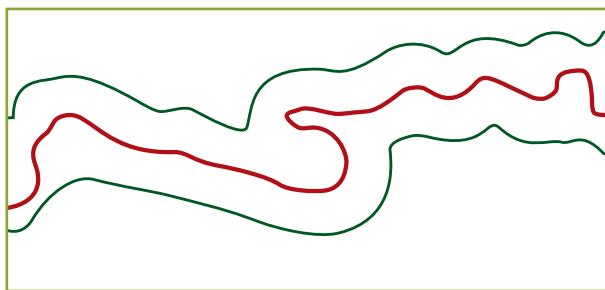
5.2.2. Etapa 2: Validación en Campo

5.2.2.1. Selección del área de referencia

La selección del área de referencia corresponde a todo el área de análisis de la Amazonía, no obstante los puntos de validación serán distribuidos teniendo en consideración los siguientes criterios:

El Área o superficie de muestreo se define tomando en cuenta la accesibilidad para ello se tomará a la red vial y a los ríos navegables.

Localizados la red vial y ríos se realizará un buffer de 500 m para ambos lados del eje y dentro de esta superficie serán distribuidos los puntos de muestreos.



5.2.2.2. Diseño de los puntos de muestreo

El diseño de los puntos de muestreo contempla la determinación del tipo de las unidades de muestreo, del método de selección de las mismas, así como del número de unidades de muestreo necesarias.

■ La unidad de muestreo

La unidad de muestreo permite relacionar la localización de la información del mapa y del terreno.

La unidad de muestreo a utilizar será un punto, la

cual compara la clasificación del mapa con relación a este punto con la misma localización en el terreno; en la práctica, el punto será evaluado en una superficie alrededor del punto, esta área será dentro de un pixel de 30 x 30.¹⁶

■ Método de muestreo

El método de muestreo a utilizar será la de aleatorio sistemático no alineado estratificado, en la que la muestra se realiza dividiendo a la población en estratos, con base en una o más variables auxiliares, la cual podría ser facilidad de acceso como la red vial y los ríos navegables. Éste método permite tener cierto control sobre la distribución de los sitios de muestreo y obtener información sobre los conjuntos de la clasificación.

■ Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra estará referido al número de puntos de muestreo que se utilizarán para estimar la confiabilidad del mapa. Entre más grande sea el tamaño de la muestra, más precisa será la evaluación; sin embargo por razones de costo y tiempo es conveniente determinar el tamaño de muestras mínimas para alcanzar nuestro objetivo de evaluación.

El diseño del muestreo se dará bajo los siguientes criterios:

- Rango de confianza de 95%.
- Puntos de muestreo espacialmente distribuidos.

El cálculo de los puntos de muestreos aleatorios que se deben verificar en las imágenes de alta resolución se obtiene de acuerdo con la fórmula establecida por Cochran-1977¹⁷ en donde se establece que

16. Janssen y Van der Wel - 1994.

17. Actualmente diversos procesos de validación se realizan apoyados en Cochran en virtud de que relaciona la superficie de diversos estratos temáticos con el número de muestras necesarias para llegar a un porcentaje de confianza definida por el productor.

estadísticamente para los datos categóricos el número de puntos de verificación depende de tres variables:

- S: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos.
- P: indica el porcentaje de aciertos estimados, establecido por el área de la clase.
- Q: el porcentaje de errores estimados
- E: el nivel permitido de error

$$N = \frac{S^2 * p * q}{E^2}$$

La cantidad de puntos se calcula para cada clase establecida del mapa de cobertura de bosque y de deforestación, con la finalidad de obtener puntos heterogéneos y distribuidos en toda el área de validación, como se observa en la Tabla 04, se calculará las áreas de cada clase y los porcentajes que representan del total del área, que para la formula antes mencionada toma el valor de **P**.

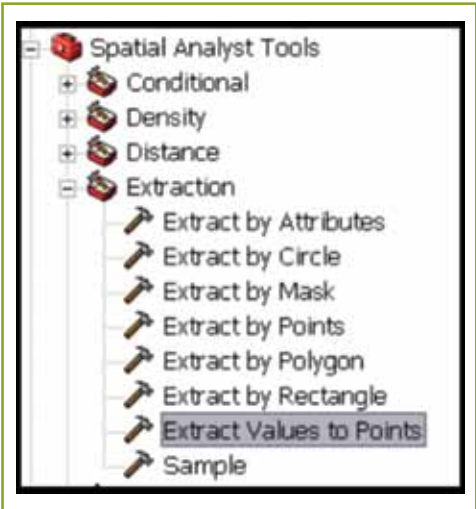
Clase	Superficie (ha.)	Porcentaje (P)
Bosque	A	% A
No Bosque	B	% B
Deforestación	C	% C

TABLA 4: Clases a partir del cual se calcula los puntos para la validación.

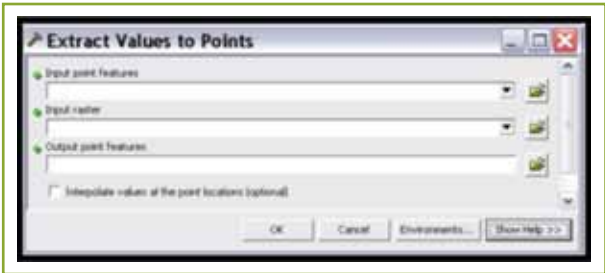
La distribución de los puntos dentro de la muestra seleccionada se puede realizar con el uso de la herramientas SIG, tales como el *Hawth's Analisis Tools* de ArcGIS o similar y cada distribución debe hacerse para cada clase del mapa.

La obtención de los puntos de muestreo se realizará con el siguiente procedimiento:

- a) Se generarán los puntos de muestreo en el buffer generado de los ríos navegables y la red vial en todo el ámbito de estudio (Amazonía Peruana).
- b) Obtenido los puntos de muestreo, se procede a la extracción de los datos de la clasificación en los puntos de muestreo. Este paso se utilizará con el ArcGIS y la herramienta del Arc Toolbox, seleccione **Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract Values to Points**.



En la ventana que se abre, especifique los *puntos de muestreo* en **Input Point Features**, la imagen clasificada en **Input raster**, y asigne un nuevo nombre a los nuevos puntos que cargaran los valores de la imagen en **Output point Features**.



En el proceso se generará los puntos de muestreo con los datos de clasificación (1=Bosque, 2= No Bosque 3= Deforestación).

c) Para la verificación de los puntos en campo se debe preparar una tabla con los siguientes campos.

Tabla de Atributos del Shape de Puntos de Muestreo con Imágenes de alta Resolución

Id_sig	cobertura_mapa	cobertura_verificación observada	observaciones
--------	----------------	----------------------------------	---------------

Donde:

ID_SIG: es el código asignado a cada punto.

Cobertura Mapa: en este campo se describe a las clases que se tienen bosque, no bosque y deforestación.

Cobertura Observada: en este campo se describirá lo que se observó en las imágenes de alta resolución y de los datos de las líneas de sobrevuelo, sea bosque, no bosque y deforestación.

Verificación: este espacio será llenado si coinciden los campos de cobertura_mapa y cobertura_acertada con una letra V y F si es lo contrario.

Observaciones: el campo será llenado con las observaciones del usuario crea conveniente.

5.2.2.3. Levantamiento de los puntos de muestreo en campo

El procedimiento de levantamiento de puntos en campo se detalla de la siguiente forma:

■ Materiales y Equipos a ser utilizados en campo

MATERIALES

- Matriz de datos de campo (ver Anexo 1).
- Ventana de imagen Landsat TM5 del punto a muestrear.
- Ventana de imagen Google Earth (si es disponible) del punto a muestrear.

- Ventana de la Carta nacional 1/100,000 del punto a muestrear (producido según base de datos digital).
- Mapa ubicación del área de trabajo escala 1/100,000.
- Tabla con agarradera y Libreta de apunte.
- Wincha, GPS; Trípode (para cámara).
- Cintas de agua.

EQUIPOS

- Laptop con la base de datos del tramo para el trabajo de campo.
- GPS Garmin Oregon.
- Brújula.
- Cámara fotográfica digital
- Concave spherical densiometer (puede construirse un equipo similar de acuerdo al Anexo 2)

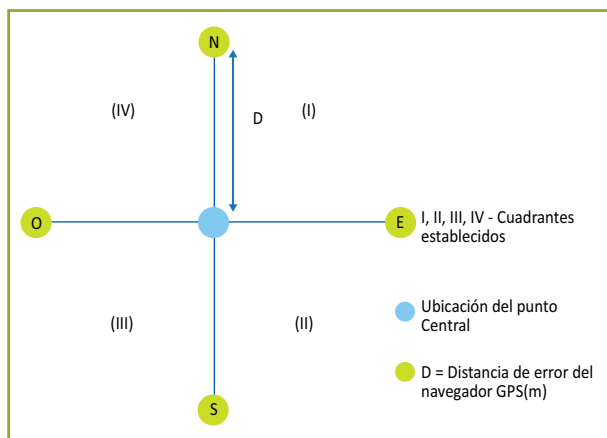
■ Método

El método consiste en medir en campo las tres variables principales de la definición de bosque establecida a nivel nacional e internacional, es decir: a) altura de árboles; b) Porcentaje de cobertura de copa.

■ Procedimiento

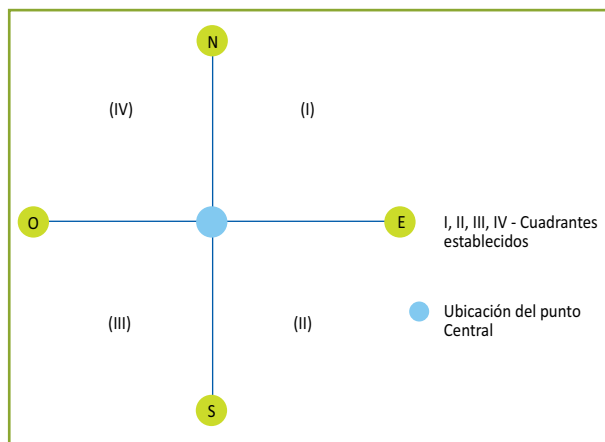
- Organizar el material para cada punto de verificación armando un file con el material cartográfico necesario y ordenándolo según la secuencia de trabajo diario. Esta actividad puede ser realizada en gabinete o en el lugar de trabajo de campo un día antes de iniciar la campaña.
- El material para cada punto de validación es:
 - Mapa de Ubicación o de contexto para cada punto de validación en la que esté registrado las vías de acceso, centros poblados y otros rasgos importantes.
 - Imagen satelital de alta resolución extraída de Google Earth u otra fuente que permita la focalización del punto. Esta imagen debe contar con la información marginal necesaria para su lectura.

- iii. En campo, aproximarse al primer punto de verificación con la unidad de transporte de acuerdo al mapa de ubicación y con el uso de GPS.
- iv. En el lugar de aproximación, el equipo de profesionales inicia la caminata hacia el primer punto de verificación guiado por el posicionador satelital y por las ventanas de la imagen Landsat y las del Google Earth.
- v. Dado que también se verificará la precisión de la corrección geométrica de las imágenes satelitales, el punto de verificación debe ser localizado con mejor precisión en campo usando las referencias geográficas del lugar.
- vi. En cada punto se tomará las siguientes medidas:
 - a) Definición de cuadrantes:



- vii. En el punto central, trazar el cuadrante orientado con los ejes NORTE, SUR, ESTE, OESTE y fijando en terreno 4 puntos adicionales (con estaca o piedra) a la distancia D del punto central; D es igual al valor que el GPS indica como margen de error. Para el trabajo de campo D = 15 m.

- viii. Completar el Cuadro N°1. Coordenadas geográficas de los puntos centrales

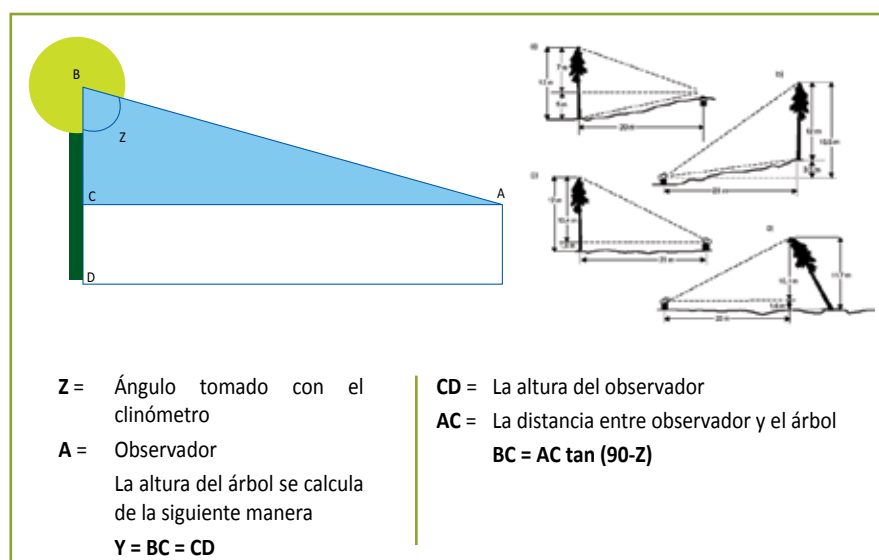


- ix. Teniendo los cuatro cuadrantes ubicados desde el punto central se comienza utilizar con Concave spherical densiometer para el cálculo del dosel de bosques. Para ello se sigue estos pasos:
 - Parado en el punto donde quiere medir la cobertura del dosel, se toman cuatro mediciones, uno mirando en cada dirección cardinal (mirando al norte, este, sur, y oeste);
 - Para cada medición, hay que asegurarse que el nivel está nivelado;
 - Se imagina cuatro puntos en cada cuadrícula (96 puntos en total) y con un ojo cerrado, se cuenta todo los puntos que están cubierto de dosel (o que no están cubierto, dependiendo de lo que sea más rápido);
 - El número de puntos contado se multiplica por 1,04; el resultado es el porcentaje de la cobertura del dosel (o el porcentaje no cubierto, dependiendo de qué puntos se ha contado);
 - Se toma el promedio de las cuatro mediciones (de cada dirección cardinal), asegurando que todas las mediciones corresponden al porcentaje de la cobertura del dosel (si no primero hay que restar el resultado de 100);

- El resultado eso es el porcentaje de la cobertura del dosel en ese punto.
- x. Realizar las anotaciones en la ficha de datos de campo (Anexo 1).
- xi. Iniciar la medición de la altura de árboles
- xii. Tomar el ángulo (Z) con el clinómetro y la distancia al árbol (AC) con la wincha de cinco (5) árboles del

cuadrante (I). De acuerdo a la pendiente en el momento de la toma se considerará la toma de ángulo según como se muestra en el gráfico. El observador responsable de tomar el ángulo de cada individuo siempre debe ser el mismo ya que su altura debe ser una constante para facilitar y agilizar la toma de datos.

Altura de la copa de árboles:



Nota: si se cuenta con otro procedimiento más automatizado o de lectura directa de la altura de los árboles puede usarse.

5.2.2.4. Análisis de datos

El análisis de datos recogidos en campo se efectúa teniendo en cuenta su contrastación de los datos del mapa y el cálculo de la matriz de confusión y las métricas de precisión.

5.2.2.4.1. Matriz de confusión

El análisis de los datos se realiza desarrollando la matriz de confusión que se muestra.

Resultados de Clasificación	REFERENCIA RESULTADOS						
	Clase	Bosque	No bosque	Deforestación	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	Bosque	A1	A2	A3	(A1+A2+A3)= X	EU1	EC1
	No bosque	B1	B2	B3	(B1+B2+B3)= Y	EU2	EC2
	Deforestación	C1	C2	C3	(C1+C2+C3)= Z	EU3	EC3
	Total	(A1+B1+C1)= R	(A2+B2+C2)= S	(A3+B3+C3)= T	M		
	Exactitud Productor	EP1	EP2	EP3			
	Error Omisión	EO1	EO2	EO3			

TABLA 2: Matriz de confusión para el proceso de validación con datos de campo.

De la matriz se desprende los siguientes datos:

Clases bien estimadas: expresa la confiabilidad del mapa y es la sumatoria de los puntos correctamente asignados (A1, A2 y A3).

Total de clases: es el número total de los puntos de muestreo que son evaluados en la matriz de confusión y que representa de la matriz el valor de M.

Total: de los resultados de la clasificación y de referencia representan la sumatoria de los valores para cada una de las clases (R, S, T, A, Y, Z).

A partir de la matriz de confusión se calculan las siguientes medidas:

Medidas de precisión

- Error de comisión: Indica la probabilidad de que el usuario del mapa encuentre información incorrecta durante su uso.

Error de comisión = 1 – Exactitud del Usuario

Por ejemplo: EC1 = 1 - EU1

- Error de omisión: Indica en qué medida el productor del mapa representó incorrectamente los rasgos del terreno

Error de omisión = 1- Exactitud del Productor

Por ejemplo: EO1 = 1 – EP1

Métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases

Conjunto de medidas que permiten determinar la probabilidad de que una clase de referencia haya sido clasificada en el mapa y represente esa clase en la realidad.

- Exactitud del usuario: Valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase.

Exactitud del Usuario = número de coincidencias/ total

Por ejemplo: EU1 = A1/R

- Exactitud del productor: porcentaje de elementos bien clasificados para cada clase en las columnas. Indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada.

Exactitud del Productor = número de coincidencias/ total

Por ejemplo: $EP1 = A1/R$

5.2.2.4.2. Métrica para evaluar la precisión del Mapa (índice de Kappa)

El índice de Kappa es la proporción de coincidencias obtenidas en un producto cartográfico sustrayendo aquellos generados de forma fortuita.

Siendo:

$Po = \text{Número de aciertos} / \text{Número total de clases}$

$Po = (A1 + B2 + C3) / M$

$Pe =$ Calculo generado desde la matriz de confusión.

$$Pe = (EP1 \times EU1) + (EP2 \times EU2) + (EP3 \times EU3)$$

A la hora de interpretar el valor de κ es útil disponer de una escala como la siguiente:

Coeficiente de Kappa (k)	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

Valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977).

ANEXO 1. MATRIZ DE DATOS DE CAMPO

Matriz de datos de campo					
Código del Punto de Muestreo:			Especialista:		
Fecha y hora:			Zona:		
Descripción General: <i>presencia humana, .po de vegetación (cul.vo, veg. nat.).</i>					
Evaluación General - Campo:			Análisis:		
PUNTOS (a 25 m del punto central):					
	Central	Norte	Este	Sur	Oeste
Puntos de GPS:		Coordenadas	Coordenadas	Coordenadas	Coordenadas
Coordenadas					
REGISTRO FOTOGRÁFICO					
Punto Central	Norte	Este		Sur	Oeste
Código de la foto					
ALTURA DEL ÁRBOL					
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Ángulo del eclímetro	ángulo	ángulo	ángulo	ángulo	ángulo
Distancia del PC al árbol	distancia	distancia	distancia	distancia	distancia
DOSEL DEL ÁRBOL					
Central	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
OBSERVACIONES:					

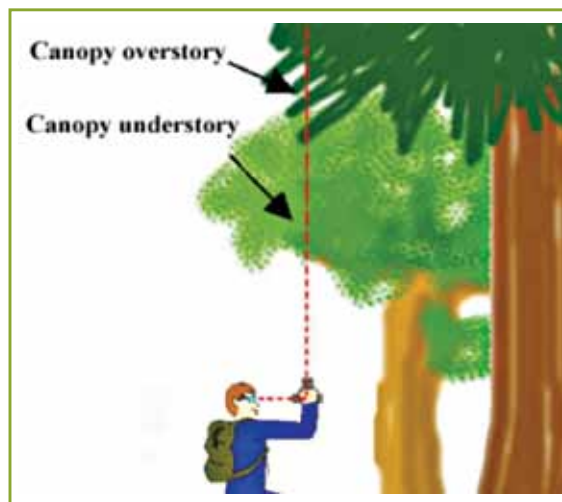
ANEXO 2. INSTRUCCIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE DENSIOMETRO

1. MATERIALES

- a. 01 codo de PVC, de preferencia de 5cm de diámetro.
- b. 01 espejo, de preferencia de 7.5cm de diámetro.
- c. 01 paquete de moldimix.
- d. 01 cinta "TAPE" o similar.
- e. 01 rollo de hilo de pescar.
- f. 02 niveles de burbuja pequeños.

2. PROCEDIMINETO

- a. Cortar el codo por la inflexión en un ángulo de 45 grados con respecto a sus dos ejes Y e X (VER FIGURA 1).
- b. Colocar el espejo al codo cubriendo el agujero con el lado reflector hacia el interior. Utilizar el moldimix para fijar el espejo al codo. El espejo debe quedar a 45 grados de cada eje (VER FIGURA 2).
- c. En uno de los extremos del codo de PVC, realizar 04 ranuras. 02 ranuras deben estar sobre el eje X del codo (dividiendo la circunferencia del codo en 2 partes iguales) y las otras dos ranuras deben estar sobre la recta perpendicular al eje X que pasa por el centro de la circunferencia del extremo del codo (dividiendo finalmente la circunferencia del codo en 4 partes iguales; VER FIGURA 3).
- d. En el extremo del codo donde se realizaron las ranuras se fijaran 02 tramos de hilo de pescar. Fijar un extremo de un tramo de hilo de pescar en una



ranura y el otro extremo en la ranura opuesta. Luego proceder del mismo modo con el otro tramo de hilo de pescar y el otro par de ranuras. De esta manera se ha formado una cruz en el centro de la circunferencia del extremo del codo de PVC. Los dos tramos de hilo de pescar deben quedar bien tensos. Utilizar la cinta de tape para fijar el hilo de pescar a las ranuras desde la parte exterior del codo de PVC (VER FIGURA 4).

- e. En el extremo del codo donde se colocó el hilo de pescar en forma de cruz, en la parte interior, se fijarán los 02 "niveles de burbuja" paralelos al plano horizontal. Se fijara 01 nivel perpendicular a cada tramo de hilo de pescar. El "nivel de burbuja" principal es el que irá paralelo al eje X (VER FIGURA 5). El segundo "nivel de burbuja" servirá para medir la desviación del eje Y con respecto a la vertical se colocara perpendicular al eje X. Este nivel es facultativo, ya que su desviación es más fácil de controlar (VER FIGURA 6).

Figura 1

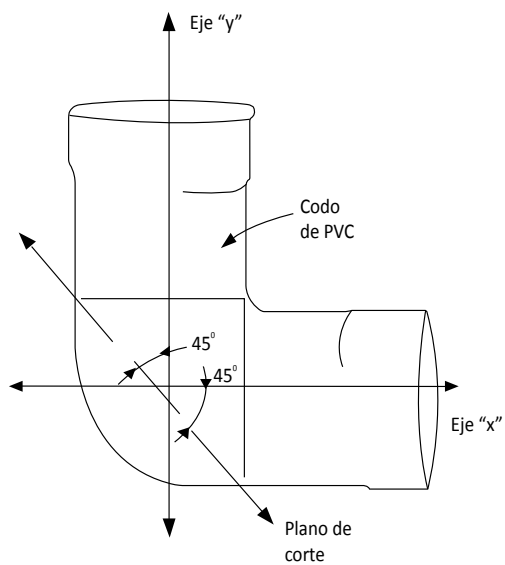


Figura 2

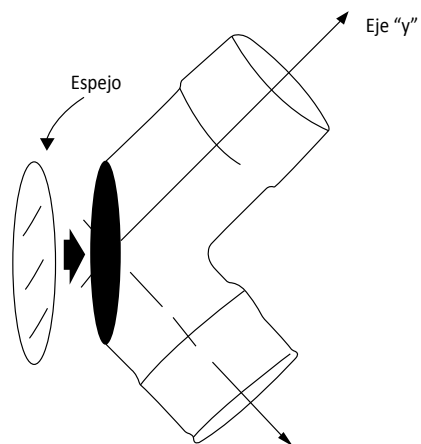


Figura 3

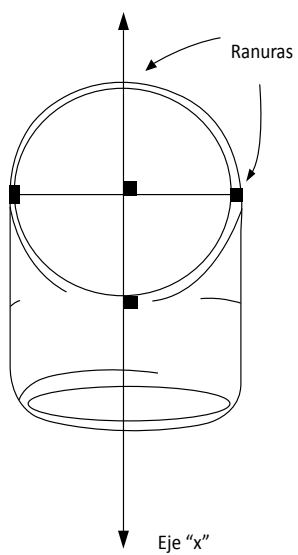


Figura 4

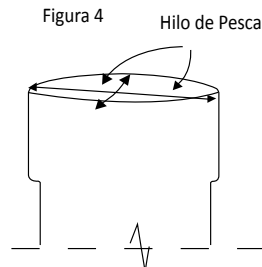


Figura 6

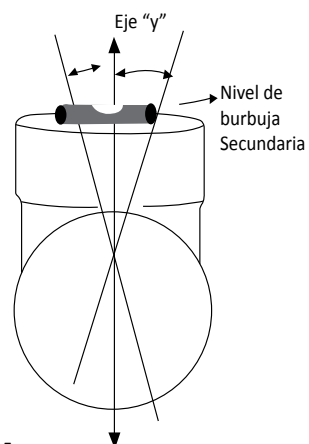
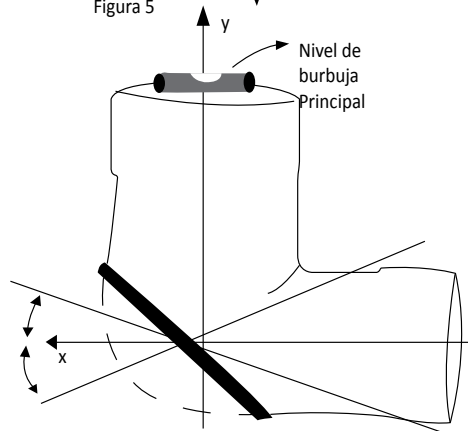


Figura 5



El presente documento describe el procedimiento a seguir por el Equipo del SIGMINAM_DGOT del Ministerio del Ambiente de Perú, para evaluar el mapa resultante del análisis de cobertura de bosque y degradación forestal.

El protocolo contempla la aplicación de imágenes de alta resolución, supervisión de campo y el análisis correspondiente para obtener los porcentajes confianza y determinación de los valores de precisión y error correspondiente.



Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N 1440
San Isidro, Lima. Perú
Central Telefónica (+511) 611 6000
Línea verde: 0800 -00- 660
Fax: (+511) 611 6034
www.minam.gob.pe

