



PERÚ

Ministerio  
de Agricultura y Riego

**SERFOR** Servicio  
Nacional  
Forestal y  
de Fauna  
Silvestre



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



# MARCO METODOLÓGICO DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE - PERÚ



# **MARCO METODOLÓGICO DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE – PERÚ**

Publicado por  
el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)  
y el Ministerio del Ambiente (MINAM)  
Lima, diciembre 2016

## MARCO METODOLÓGICO DEL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE

Documento aprobado el día 2 de noviembre de 2016, mediante  
Resolución de Dirección Ejecutiva N° 253-2016-SERFOR-DE

© Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)

© Ministerio del Ambiente (MINAM)

John Leigh Vetter

Director Ejecutivo (SERFOR)

Rocío Malleux Hernani

Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)

Elvira Gómez Rivero

Dirección de Inventario y Valoración (SERFOR)

Fernando León Morales

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales (MINAM)

Luis Francisco Rosa Pérez Tuesta

Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (MINAM)

Primera edición, diciembre 2016

Diseño y diagramación:

Ana Periche Acosta

El diseño del Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre ha sido posible gracias al financiamiento y asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a través del proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático.

Foto de portada: © SERFOR

# AGRADECIMIENTOS

El presente documento es resultado de un intenso y generoso trabajo de numerosas personas e instituciones, conocedoras y comprometidas con el proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible del Perú ante el Cambio Climático, un acuerdo de cooperación técnica entre el Estado peruano y el Programa Forestal Global FAO - Finlandia.

En tal sentido, es justo reconocer y agradecer la participación del Grupo Técnico de Apoyo (GTA) y la Unidad Técnica Central (UTC) del proyecto, integradas por profesionales representantes del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), el Ministerio del Ambiente (MINAM), los gobiernos regionales (GORE), la Universidad Agraria La Molina (UNALM), el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Iniciativa del Sector Forestal del Perú (PFSI), entre otras instituciones nacionales e internacionales que estuvieron siempre dispuestas a brindar su colaboración.

En general, nuestro reconocimiento es para todas las personas e instituciones de reconocida trayectoria en gestión y generación de conocimientos en torno a los bosques y sus recursos asociados en el plano local, regional y nacional, que estuvieron siempre presentes y dispuestas a contribuir con sus valiosas experiencias.

Finalmente nuestro agradecimiento va a todas las autoridades nacionales y regionales, quienes siempre mostraron su voluntad y apoyo, permitiendo el avance en pro de una mejor herramienta para llevar adelante el Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.



# ÍNDICE

1. Introducción	9
2. Necesidades de información y variables	10
3. Definición de bosque, clases de uso actual y tipos de bosque	12
4. Condiciones del diseño	15
5. Población y subpoblaciones de interés	15
6. Proceso de configuración de las parcelas de medición y cálculo del tamaño de la muestra	17
7. Configuración de las parcelas de medición	23
7.1 Parcela de medición de las subpoblaciones o ecozonas Costa y Sierra	23
7.2 Parcela de medición de las subpoblaciones o ecozonas Hidromórfica, Selva alta accesible y Selva alta difícil	24
7.3 Parcela de medición de la subpoblación o ecozona Selva baja	26
8. Diseño de muestreo	27
9. Observaciones y mediciones	35
9.1 Colecta de datos mediante sensores remotos	35
9.2 Colecta de datos de campo	36
Bibliografía	37

# ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de variables principales del INFFS organizadas según el nombre del indicador	11
Cuadro 2. Clasificación de uso actual (CUA) y tipos de bosque para el Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre	13
Cuadro 3. Atributos del INFFS seleccionados para definir la configuración de la parcela y el tamaño de la muestra	20
Cuadro 4. Análisis de sensibilidad de la configuración de la parcela seleccionada para Selva baja	22
Cuadro 5. Tamaño de la muestra por subpoblación y distancia promedio de las parcelas	28
Cuadro 6. Número de parcelas de medición del INFFS a ser visitadas en campo	35

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ecozonas o subpoblaciones del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre	16
Figura 2. Mapa de accesibilidad y desplazamiento	18
Figura 3. Mapa de modelos de transporte para Selva baja	19
Figura 4. Relaciones varianza - costos para: a) número de subparcelas, b) área (tamaño) de subparcelas y c) distancia de subparcelas	21
Figura 5. Configuración de la parcela de medición para Costa y Sierra	24
Figura 6. Configuración de la parcela de medición para las ecozonas Hidromórfica, Selva alta accesible y Selva alta difícil	25
Figura 7. Configuración de la parcela de medición para Selva baja	27
Figura 8. Cuadrículas del INFFS para la selección de muestras por subpoblación	29
Figura 9. Selección de muestra aleatoria dentro de cada cuadrícula	30
Figura 10. Distribución final de muestras del INFFS	31
Figura 11. Ejemplo de agrupación de puntos de muestreo en la ecozona de Selva baja, departamento de Loreto	33
Figura 12. Ejemplo de la distribución de paneles para la ecozona de Selva baja, departamento de Loreto	34

# ACRÓNIMOS

<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático
<b>CV</b>	Coeficiente de variación
<b>DAP</b>	Diámetro a la altura del pecho
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>GORE</b>	Gobiernos regionales
<b>GTA</b>	Grupo Técnico de Apoyo
<b>IBPP</b>	Inventario de Bosques de Producción Permanente
<b>INFFS</b>	Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
<b>MINAGRI</b>	Ministerio de Agricultura y Riego
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>MSEF</b>	Monitoreo Socioeconómico Forestal
<b>PFSI</b>	Programa de Cooperación del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América en Perú
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques
<b>UNALM</b>	Universidad Nacional Agraria La Molina
<b>UNFF</b>	Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques
<b>UR</b>	Unidad de Registro
<b>USFS</b>	Servicio Forestal de los Estados Unidos
<b>UTC</b>	Unidad Técnica Central



# 1. INTRODUCCIÓN

La información actualizada del estado de los bosques y sus recursos es la base fundamental para la toma de decisiones, promoción de cambios, evaluación de logros y evolución de tendencias del manejo forestal sostenible. Es por ello que son necesarias nuevas inversiones en información para la gestión y ordenamiento de los bosques. El Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (INFFS) es un instrumento de vanguardia promovido por el Ministerio de Agricultura y Riego y el Ministerio del Ambiente, quienes junto con los gobiernos regionales ejecutarán la medición, registro, análisis y gestión de datos e información sobre el estado de los bosques y sus recursos en un contexto ambiental, social y económico. Es un proceso que responde a los objetivos del eje de la Política Nacional del Ambiente sobre “Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica” (Ministerio del Ambiente, 2009). Adicionalmente, en la Ley Forestal y de Fauna Silvestre se establece que “[...] el SERFOR es la entidad encargada de elaborar de forma permanente y actualizar de forma periódica el inventario nacional y valoración de la diversidad forestal y fauna silvestre [...]” (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2011).

Actualmente se estima que los bosques primarios cubren aproximadamente el 57% del territorio nacional (Ministerio del Ambiente del Perú, 2012) y son fuentes de biodiversidad, medicinas, alimentos, aire y agua. De acuerdo a la Segunda Comunicación del Perú ante la Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC), el cambio de uso de suelo es el principal factor de emisión de gases de efecto invernadero con el 47% de las emisiones nacionales (Ministerio del Ambiente del Perú, 2010). En la Amazonía, se estima la destrucción de los bosques en unas 150 000 ha/año, generalmente por tala y quema para cambio de uso y una inadecuada gestión forestal, que alteran los ecosistemas y aumentan los riesgos de inundaciones, sequías, incendios y plagas. En el bosque seco de la Costa norte se ha deforestado más del 50% de la cubierta forestal con una tasa de deforestación de aproximadamente 20 000 ha/año, además de la destrucción de asociaciones vegetales atmosféricas (lomas) y de los bosques ribereños. En la Sierra, los bosques andinos de *Polylepis* presentan ahora menos del 30% de su cobertura original y han sufrido alta presión desde épocas prehispánicas. Para hacer frente a estos desafíos, es necesario reforzar la formulación de políticas y planes forestales mediante procesos participativos y multisectoriales en el Perú. Sin embargo, es necesario recordar que se cuenta con limitada información del estado de los bosques (Fjelsa y Kessler, 1996; Gosling et al., 2009).

El Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre tiene un concepto multipropósito, enfocado a la actualización continua de información sobre el estado de los productos y servicios de los bosques, las interacciones de las poblaciones que se benefician directa e indirectamente de ellos y el valor de los bosques en sus múltiples funciones, incluyendo la mitigación ante el cambio climático. La información generada, que es de alcance nacional y de largo plazo, servirá para la toma de decisiones políticas, tanto a nivel de gobierno nacional, gobiernos regionales como de gobiernos y comunidades locales, ya que tiene un concepto multinivel y combina las mejores tecnologías de colecta de datos en campo con información de sensores remotos. En este sentido, los inventarios forestales son parte muy importante del monitoreo de los bosques, ya que proporcionan la información más confiable al tratarse de una recolección de datos directamente en el terreno.

El objetivo del INFFS del Perú es proveer información continua, actualizada y confiable para la planificación del manejo sostenible de los bosques del Perú y sus recursos en las regiones de Selva, Sierra y Costa, incluyendo los bosques naturales, plantaciones forestales y bosques secundarios, colectando y procesando datos sobre la biomasa, biodiversidad, reservas de carbono, deforestación, emisión de gases de efecto invernadero, estado de la fauna silvestre e información socioeconómica de las poblaciones rurales asentadas en su entorno.

El Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del Perú y el presente Marco Metodológico se diseñaron e implementaron en el marco del proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible del Perú ante el Cambio Climático, un acuerdo de cooperación técnica entre el Estado peruano y el Programa Forestal Global FAO - Finlandia. La visión del proyecto fue contribuir a la sostenibilidad ecológica, social y económica de los bosques y sus recursos asociados e incrementar sus

beneficios para los medios de vida rurales, así como el rol en la mitigación y adaptación al cambio climático en el Perú. El proyecto tiene tres componentes: (1) inventario y monitoreo de los bosques, (2) apoyo al desarrollo de políticas y del plan nacional forestal y (3) manejo forestal sostenible.

Este proyecto se estableció en 2011, año en que se iniciaron los arreglos institucionales. Durante 2012 se realizó el proceso de planificación y diseño, donde se elaboró una herramienta que facilita una evaluación continua de su eficiencia y costos, así como la introducción de nuevas variables en la medida que las necesidades de información cambien. En marzo del 2013 se inició la ejecución en campo.

El INFFS es un instrumento de planificación para varios tipos de usuarios, entre ellos, las autoridades del gobierno nacional, regional y local, entidades académicas y de investigación, manejadores de bosques y comunidades campesinas y nativas que subsisten de los beneficios de los bosques del Perú. Su diseño fue desarrollado en un proceso participativo y exhaustivo a nivel nacional, en el que se incluyeron diferentes sectores del gobierno nacional, gobiernos regionales, academia e instituciones dedicadas a la investigación científica.

## 2. NECESIDADES DE INFORMACIÓN Y VARIABLES

Un aspecto importante en la planificación de los inventarios forestales es la identificación de las necesidades de información que tienen los distintos usuarios con relación a los datos que se van a recoger y la información que se va a generar. Si no se definen bien estas necesidades, se corre el riesgo de recolectar información que no satisfaga a los usuarios, perdiendo recursos económicos y oportunidades.

El INFFS parte de un concepto multipropósito, es decir, no sólo brinda información sobre el estado productivo de los bosques, sino también provee datos referidos al carbono y a la diversidad de flora y fauna. Además, junto con el Monitoreo Socioeconómico Forestal (MSEF), genera información sobre las comunidades que se benefician directamente de los bosques. Es decir, incluye la forma en que las comunidades valoran sus bosques, conservan sus recursos, los productos que usan, sus conocimientos tradicionales y demás aspectos referidos a quién y cómo se toman las decisiones para el manejo de los recursos. Todos los componentes de un inventario multipropósito son importantes y se complementan entre sí.

La información recopilada en el INFFS responde a las necesidades de información para varias instituciones: i) Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, (SERFOR) del Ministerio de Agricultura y Riego; ii) las cuatro direcciones de línea del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente y iii) 22 gobiernos regionales. Estas necesidades se identificaron a través de varias consultas participativas con estas instituciones y otros actores a nivel nacional, regional y local. Las necesidades se resumen en las siguientes temáticas:

1. Valoración y evaluación de los recursos forestales.
2. Extensión, deforestación y degradación de los bosques.
3. Absorciones y emisiones de carbono forestal.
4. Diversidad biológica de los ecosistemas forestales.
5. Aspectos socioeconómicos y de gobernanza forestal.

Estas temáticas responden a los principios de manejo forestal sostenible definidos por el Foro de Naciones Unidas sobre los Bosques (UNFF, por sus siglas en inglés)<sup>1</sup> que han sido utilizados por la FAO para la Evaluación de los Recursos Forestales

<sup>1</sup>Los principios son los siguientes: extensión, ubicación y dinámica de cambio, diversidad biológica, función productiva, salud y vitalidad, función de protección y función socioeconómica. Fueron adaptados y validados en el Taller sobre criterios para el diseño del Inventario Nacional Forestal,

Mundiales (FAO, 2010). Adicionalmente responden a las necesidades de información para establecer el Sistema de Medición, Reporte y Verificación del Perú, como parte de un futuro mecanismo de Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y Degradación de los bosques (REDD+).

Sobre los primeros cuatro temas se desarrollaron preguntas de monitoreo con sus respectivos indicadores. Se diseñaron 24 preguntas que fueron priorizadas en 10 talleres con la participación de técnicos de 22 regiones del país. A partir de las preguntas prioritarias, se definieron las variables de interés resumidas en el cuadro 1. Los temas de aspectos socioeconómicos y de gobernanza forestal se registrarán a través del Monitoreo Socioeconómico Forestal, el cual tiene un diseño diferente al de la información biofísica del INFFS descrita en este documento.

**Cuadro 1.** Lista de variables principales del INFFS organizadas según el nombre del indicador

<b>1. Abundancia de especies y árboles</b>
1.1 Frecuencia de especies de árboles por hectárea
1.2 Índice de Valor de Importancia (IVI) simplificado
1.3 Densidad de árboles por hectárea
<b>2. Valor de los árboles, calidad de la madera</b>
2.1 Volumen bruto total (m <sup>3</sup> )
2.2 Volumen comercial total (m <sup>3</sup> )
2.4 Volumen bruto total por usos locales y comerciales (m <sup>3</sup> )
2.5 Volumen comercial total por usos locales y comerciales (m <sup>3</sup> )
2.6 Volumen bruto total según calidad de fuste
2.7 Uso de los árboles por especie
<b>3. Condición de los árboles</b>
3.1 Calidad de fuste
3.2 Condición fitosanitaria
3.3 Grado de afectación fitosanitaria
3.4 Crecimiento neto de especies arbóreas (m <sup>3</sup> /año)
<b>4. Crecimiento de los árboles e índice de mortalidad</b>
4.1 Crecimiento neto de especies arbóreas (m <sup>3</sup> /año)
4.2 Crecimiento neto de especies comerciales (m <sup>3</sup> /año)
4.3 Crecimiento neto de especies para aserrío (m <sup>3</sup> /año)
4.4 Mortalidad de especies arbóreas (m <sup>3</sup> /año)
4.5 Mortalidad de especies comerciales (m <sup>3</sup> /año)
4.6 Mortalidad de especies para aserrío (m <sup>3</sup> /año)
4.7 Densidad de tocones por hectárea
4.8 Densidad de árboles muertos en pie por hectárea
<b>5. Estructura del bosque</b>
5.1 Distribución de frecuencias diamétricas
5.2 Estado de la estructura vertical de los bosques

---

realizado en la ciudad de Lima el 15-17 de febrero de 2012.

<b>6. Fragmentación del bosque</b>
6.1 Índice de fragmentación de los bosques
<b>7. Regeneración natural de especies arbóreas</b>
7.2 Densidad de brinzales, latizales y fustales por tipo de bosque
<b>8. Residuos gruesos de madera</b>
8.5 Densidad de madera muerta
<b>9. Uso de la tierra y degradación</b>
9.1 Superficie de tierras por clase de uso actual (ha)
9.2 Superficie de tierras forestales (ha)
9.3 Superficie de bosques según función primaria (ha)
9.4 Superficie de bosques según función secundaria (ha)
9.5 Superficie de tierras deforestadas (ha)
9.6 Factores de deforestación/degradación
9.7 Superficie de bosques según perturbación natural (ha)
9.8 Superficie de bosques según perturbación antrópica (ha)
9.9 Superficie de bosques según estado sucesional por perturbación (ha)
9.10 Superficie de bosques con evidencia de incendios (ha)
<b>10. Biomasa y carbono</b>
10.1 Biomasa aérea de especies arbóreas (t/año)
10.2 Biomasa de necromasa: tocones, restos de madera gruesa, árboles muertos en pie (t/año)
10.3 Biomasa estimada por extracción de especies arbóreas (t/año)
10.4 Carbono de especies arbóreas (t/año)
10.5 Carbono estimado por extracción de especies arbóreas (t/año)
10.6 Carbono de necromasa (t/año)
<b>11. Fauna silvestre</b>
11.1 Localización de avistamientos

## 3. DEFINICIÓN DE BOSQUE, CLASES DE USO ACTUAL Y TIPOS DE BOSQUE

El Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre se nutre de las experiencias a nivel nacional y de otros países de la región, de las agendas de desarrollo regional y nacional, así como de las diferentes convenciones internacionales con el fin de lograr una evaluación actualizada, precisa y confiable sobre los recursos forestales de todo el país. Durante el desarrollo de la metodología del INFFS, se buscó conciliar los diferentes puntos de vista y conceptos de diversos ámbitos científicos, administrativos y políticos sobre la definición de bosque. El resultado fue un concepto integral en consenso con los actores participantes.

El proceso consistió en una exhaustiva revisión bibliográfica, reuniones técnicas y un taller final con tomadores de decisiones. En primer lugar, se estableció el contexto, marco de referencia y los alcances de los conceptos y definiciones. Luego se trabajó una aproximación de definiciones más directamente vinculadas al INFFS y los requerimientos de los diferentes

usuarios. También se utilizaron criterios definidos para la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales de la FAO (FAO, 2010), tales como porcentaje mínimo de cobertura arbórea, altura de los árboles, área mínima y ancho mínimo.

El INFFS define bosque como un “ecosistema predominantemente arbóreo que debe tener una superficie mayor de 0,5 ha, con un ancho mínimo de 20 metros y una cobertura de copas mínima del 10%. La vegetación predominante está representada por árboles de consistencia leñosa que tienen una altura mínima de 2 metros en su estado adulto para Costa y Sierra, y 5 metros para la Selva amazónica. En su concepción integral comprende el relieve, suelo, agua, plantas, fauna silvestre y los microorganismos que condicionan asociaciones florísticas, edáficas, topográficas y climáticas con capacidad funcional autosostenible para brindar bienes y servicios. En el caso del bosque denso está estructurado en varios estratos”.

Las estimaciones del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre serán reportadas para el área total de bosque, subdivididas en los tipos de bosque y clases de uso de la tierra más importantes. Para ello, se construyó una clasificación basada en el mapa nacional de cobertura vegetal (Ministerio del Ambiente de Perú, 2012), enriquecida con la experiencia de expertos nacionales (cuadro 2). El objetivo es apoyar una clasificación de bosque in-situ para el reporte de los resultados del INFFS; sin embargo, la información de cada parcela puede ser post-clasificada según los fines de los diferentes usuarios.

**Cuadro 2.** Clasificación de uso actual (CUA) y tipos de bosque para el Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

Nivel 1 Bosque/no bosque	Nivel 2 Intervención	Nivel 3 Condición climática/ Fisonomía	Nivel 4 Fisiográfico/florístico	Código CUA
Bosque	Natural	Húmedo	Aguajal	BHAG
			Pantano arbóreo	BHPA
			Terraza media y baja	BHTM
			Terraza alta	BHTL
			Colinas	BHCO
			Montañas	BHMO
			Pacal en terraza aluvial	BHPT
			Pacal en colinas	BHPC
			Pacal montañas	BHPM
			Relicto andino	BHRA
		Seco	Manglar	BMG
			Algarrobal ribereño	BSAR
			Tipo sabana	BSTS
			Lomas	BSLO
	Antrópico		Colinas	BSCO
			Montañas	BSMO
			Valles interandinos	BSVI
			Secundario	BASE
		Plantación	BAPL	

Nivel 1 Bosque/no bosque	Nivel 2 Intervención	Nivel 3 Condición climática/ Fisonomía	Nivel 4 Fisiográfico/florístico	Código CUA
No bosque	Natural	Bambusal	Pacal	NBPP
		Matorral	Matorral	NBMA
		Herbácea	Herbazal hidrofítico	NBHH
			Sabana hidrofítica	NBSH
			Humedal costero	NBHC
			Herbazal andino	NBHA
			Bofedal	NBBO
			Rodales de Puya	NBPY
			Pajonal altoandino	NBPA
			Páramo	NBPR
	Suelo desnudo	Desierto	NBDE	
		Roquedales	NBRO	
		Glaciares	NBGL	
	Cuerpos de agua	Lago/laguna	NBLA	
		Albuferas	NBAL	
		Cocha	NBCH	
		Ríos, playas y playones	NBRI	
	Antrópico	Otros	Agricultura	NAAG
			Ganadería/pastos	NAGA
			Agroforestería	NAAF
Barbecho			NABA	
Minería			NAMI	
Petrolera			NAPE	
Infraestructura			NAIN	
Poblado			NAPO	
Desconocido			DESC	

La clasificación del INFFS sigue un orden jerárquico y tiene cuatro niveles:

**Nivel 1:** Clasifica el uso de la tierra en dos categorías generales, “bosque” y “no - bosque”. La clasificación se basa en la definición de bosque para el INFFS.

**Nivel 2:** Separa las categorías del nivel 1 según su origen (natural o antrópico).

**Nivel 3:** Para las categorías de “bosque”, el criterio de clasificación se basa en la condición climática, mientras que para las categorías de “no-bosque” en un criterio fisonómico.

**Nivel 4:** Para las categorías de “bosque” y de “no-bosque natural”, la clasificación se basa en criterios fisiográficos y florísticos. Para las categorías de “no - bosque antrópico”, el criterio es el uso actual específico.

Una de las ventajas de esta clasificación es que permitirá la estimación de variables en categorías de bosque o usos de la tierra de diferentes niveles, pero vinculadas entre sí. Las categorías específicas estarán contenidas en otras de niveles más generales. Otra ventaja es que la clasificación considera categorías fuera de los bosques (no-bosque), situación que deja abierta la posibilidad de recopilar información sobre recursos en otros usos de la tierra. Esta información podrá mejorar los cálculos de emisiones y absorciones de carbono forestal. Por otro lado, aunque actualmente el levantamiento de campo se realiza solo en áreas con bosque, existe la probabilidad de que las brigadas encuentren usos diferentes del bosque. Estas áreas deberán ser asignadas a una de las categorías de no-bosque para mejorar el conocimiento del cambio, principalmente en áreas con mosaicos de bosques secundarios, tierras en abandono y áreas de producción agropecuaria.



Estos datos, además de ser parte del informe de resultados, pueden servir para apoyar clasificaciones supervisadas en análisis de cobertura mediante teledetección, y también pueden ser utilizadas para estimar la precisión de diversos mapas.

## 4. CONDICIONES DEL DISEÑO

Para definir la población de interés, la configuración de las parcelas y el diseño de muestreo del INFFS, se establecieron las siguientes condiciones:

- Debe responder a las necesidades de información definidas en el capítulo 2.
- Debe considerar las limitantes de accesibilidad del país.
- Debe responder a un monitoreo permanente de los bosques.
- Debe facilitar la movilización de los recursos económicos, humanos y logísticos.

## 5. POBLACIÓN Y SUBPOBLACIONES DE INTERÉS

Para aplicar las teorías estadísticas del muestreo es importante definir la población en donde se seleccionará la muestra para medir los atributos de interés (Cochran, 1977). En los inventarios forestales la mayoría de atributos de interés se refieren a los árboles ubicados en un área determinada (es por ello que los árboles se miden en pequeñas áreas denominadas parcelas de medición) y la población de interés se puede referir al área o superficie de tierra de dimensión conocida en la cual se seleccionan las muestras o parcelas de medición (Betchold y Patterson, 2005).

La población de interés del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre es toda la superficie continental del territorio peruano, en donde se estiman los atributos y cambios que ocurren con relación a los bosques. La ventaja de esta población de interés es la posibilidad de la incorporación de mediciones en usos de la tierra diferentes al bosque. Este enfoque ha sido implementado en varios países, por ejemplo, en Nicaragua se realizaron mediciones de árboles fuera del bosque y se ha estimado que cerca del 25% de la biomasa aérea total del país está contenida en este recurso (Instituto Nacional Forestal de Nicaragua, 2009). En Zambia y Kenia se están implementando inventarios integrados de recursos naturales, donde se han incorporado mediciones de recursos agrícolas y ganaderos.

Debido a la complejidad ecosistémica de los bosques del Perú y a las diversas condiciones de accesibilidad, también se determinaron 6 subpoblaciones de interés. El objetivo es optimizar el diseño de muestreo en cada una de ellas y depende de la variabilidad estadística, los costos de levantamiento de campo y los niveles de accesibilidad.

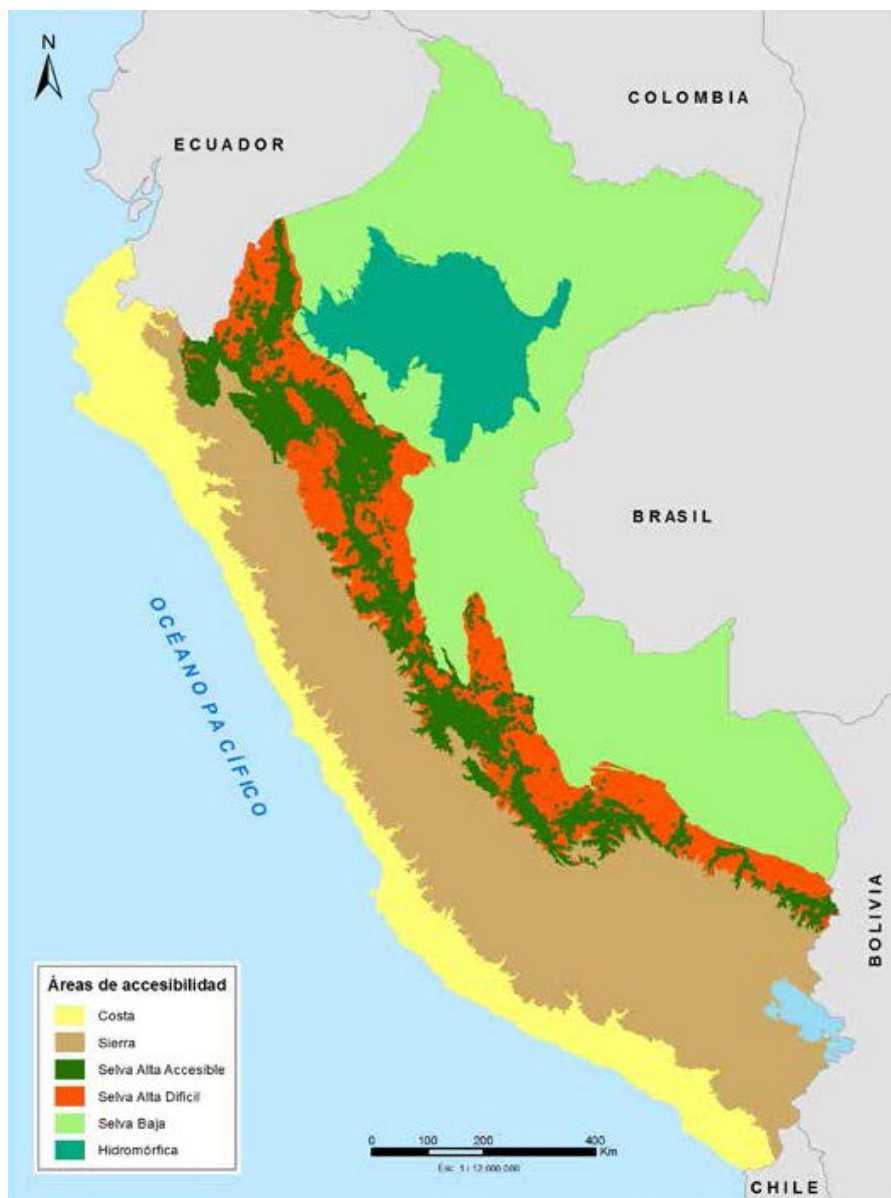
Las 6 subpoblaciones, también llamadas ecozonas, se definieron en base a cinco criterios: fisiográfico, fisonómico, florístico, capacidad de almacenamiento de carbono y accesibilidad (Ministerio de Agricultura y Riego, et al. 2014). Las características principales se describen a continuación y se muestran en la figura 1:

- Costa**, zona predominantemente desértica que va desde los 0 hasta los 2 000 msnm, con presencia de bosques secos, distribuidos principalmente al norte del país.
- Sierra**, zona de los Andes. Desde los 2 000 msnm (en la zona de Costa), llegando hasta los 6 000 msnm y bajando en la zona oriental hasta los 3 800 msnm. Predominan coberturas de pajonal altoandino y páramos. Los bosques son de porte bajo de tipo relictos altos y mesoandinos homogéneos con fuertes intervenciones, complementada con los bosques secos de valles interandinos.

- iii. **Selva alta accesible**, predomina el bosque de selva entre los 500 y 3 800 msnm, con no más de 20 km de infraestructura humana o áreas deforestadas.
- iv. **Selva alta difícil**, predomina el bosque de selva entre los 500 y 3 800 msnm, con más de 20 km de infraestructura humana o áreas deforestadas.
- v. **Selva baja**, predominan los bosques de selva de la Amazonía peruana entre los 100 y 500 msnm.
- vi. **Hidromórfica**, determinada por el abanico del río Pastaza. Predominan zonas de bosques inundables, más homogéneos y por sus condiciones inundables, y existencia de turberas, se espera un mayor almacenamiento de carbono en suelos.

El marco muestral del INFFS es el conjunto infinito de puntos que existen en la población de interés que pueden ser seleccionados para ubicar las parcelas donde se realizarán las mediciones y observaciones biofísicas (Mc Roberts R, Tomppo E, Czaplowski R. 2014).

**Figura 1.** Mapa de ecozonas o subpoblaciones del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre



Fuente: Elaboración propia.

# 6. PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE LAS PARCELAS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

En este capítulo se describen los procesos para optimizar la configuración de las parcelas y el tamaño de la muestra en función de la variabilidad de los atributos de interés y los costos asociados al trabajo de campo.

Las parcelas de medición del INFFS se diseñaron en conglomerados, tal y como fue recomendado en la “Reunión de expertos para evaluación de los enfoques de inventarios forestales para REDD+”, realizada en Roma, Italia (FAO, 2011). Las parcelas en conglomerados constan de varias subparcelas dispuestas a una distancia determinada. Este arreglo reduce la variabilidad entre parcelas, y el número de parcelas en la población para asegurar la precisión (Scott, 1993).

Para definir la configuración y el número total de parcelas que se necesitan en cada subpoblación, se desarrolló una herramienta<sup>2</sup> que calcula cientos de posibles configuraciones en función de la variabilidad de los principales atributos de interés. Además, calcula el número de parcelas necesarias para cada configuración, según las metas de precisión determinadas. Finalmente, calcula los costos asociados para realizar el levantamiento de campo y ordena las opciones de forma ascendente según los costos (Scott, 1993). Este procedimiento se detalla a continuación:

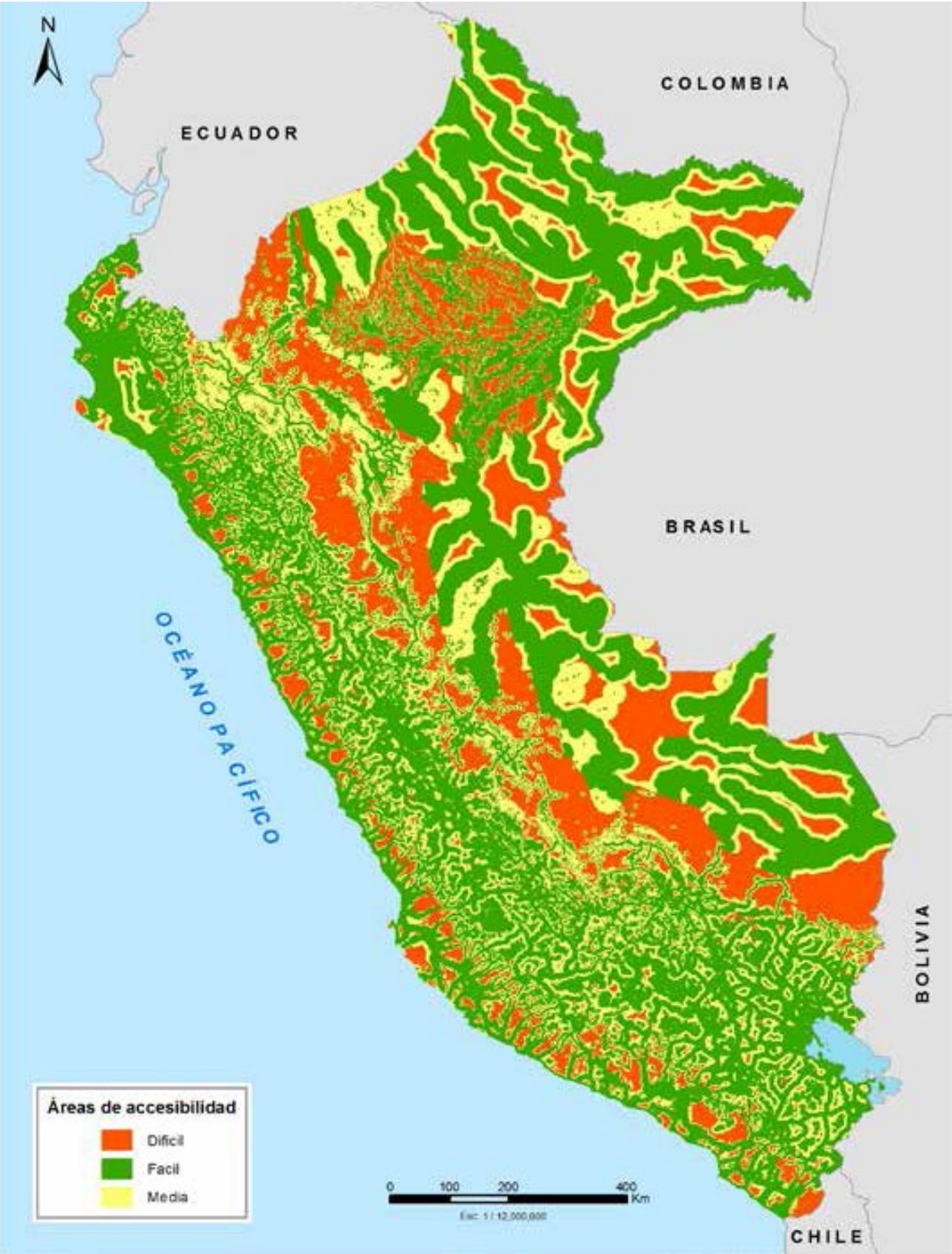
- I. Se construyó un mapa de accesibilidad y desplazamientos (figura 2), basado en un análisis de proximidad de la red vial, red hidrográfica, centros poblados y zonas deforestadas<sup>3</sup>.
- II. Se desarrollaron 13 modelos de costos con apoyo de expertos en levantamiento de datos de campo, información del Inventario de Bosques de Producción Permanente (IBPP) de Loreto y el mapa de accesibilidad y desplazamiento del INFFS. Las variables para construir los modelos fueron las siguientes:
  - Personal de las brigadas de campo
  - Personal en oficina y tiempo de preparación pre-campo
  - Capacitación
  - Control de calidad
  - Instrumentos de medición forestal
  - Medios de transporte
  - Alimentación
  - Alojamiento
  - Tiempo de caminata entre parcelas y sub-parcelas según diferentes condiciones de acceso

---

<sup>2</sup> Desarrollada con el apoyo del Servicio Forestal de los Estados Unidos.

<sup>3</sup> La metodología completa se presenta en la Memoria descriptiva del mapa de ecozonas del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2016).

Figura 2. Mapa de accesibilidad y desplazamiento

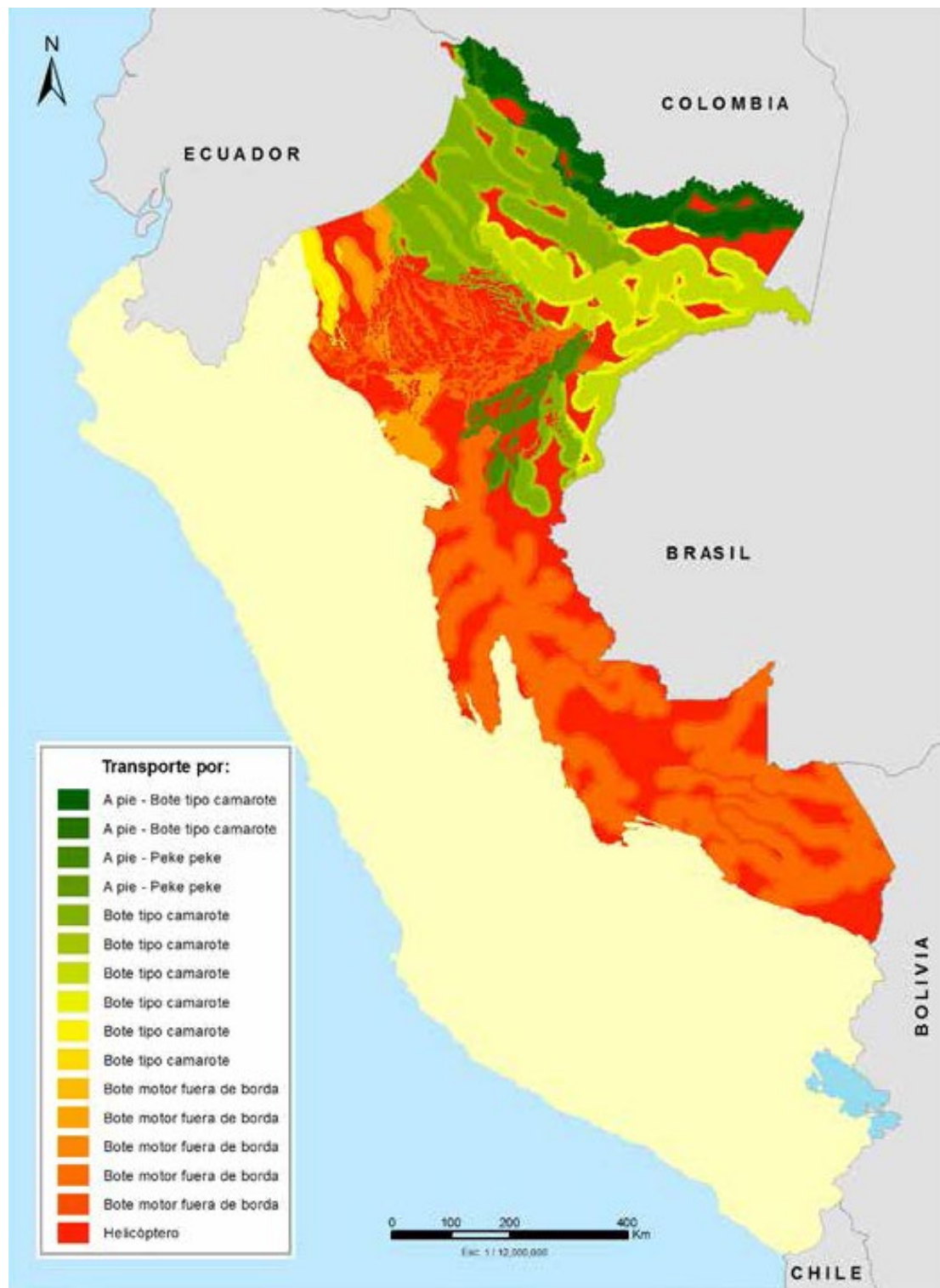


Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2016.



En la figura 3 se muestran los resultados de los modelos para Selva baja, donde se puede observar gráficamente que los modelos dependen, principalmente, del medio de transporte necesario según las condiciones de accesibilidad terrestre, acuática o aérea.

**Figura 3.** Mapa de modelos de transporte para Selva baja



Fuente: Elaboración propia.

III. Se seleccionaron los atributos de mayor interés y se definieron las metas de precisión para decidir sobre la configuración y número de parcelas necesarias para cada sub-población (cuadro 3).

Cuadro 3. Atributos del INFFS seleccionados para definir la configuración de la parcela y el tamaño de la muestra

Atributo	Meta de precisión†	Nivel de confianza
Árboles/ha (30+ cm DAP)	12.0%	95%
Área Basal/ha	12.0%	95%
Volumen/ha (30+ cm DAP)	12.0%	95%
Fustales/ha 10-30 cm DAP	18.0%	95%
Latizales >3 m & <10 cm DAP	17.0%	95%
Brinzales 1-3 m	19.0%	95%

† Medio ancho del intervalo de confianza, expresado en porcentaje de la estimación (error de muestreo esperado).

IV. Se desarrollaron cientos de posibles configuraciones de parcelas, desde parcelas únicas hasta parcelas en conglomerados que diferían en la cantidad de subparcelas (m), el tamaño de las subparcelas (z) y la distancia entre subparcelas (d).

V. Se construyeron modelos de regresión no lineales de parámetros múltiples para cada atributo de interés (Scott, 1993), estos relacionan el cuadrado del Coeficiente de Variación ( $CV^2$ ) de las variables de interés en función del área, distancia y número de subparcelas.

$$CV^2 = b_0 m^b - (\bar{d}_k + 1)^{b_d} Z_k^{b_z}$$

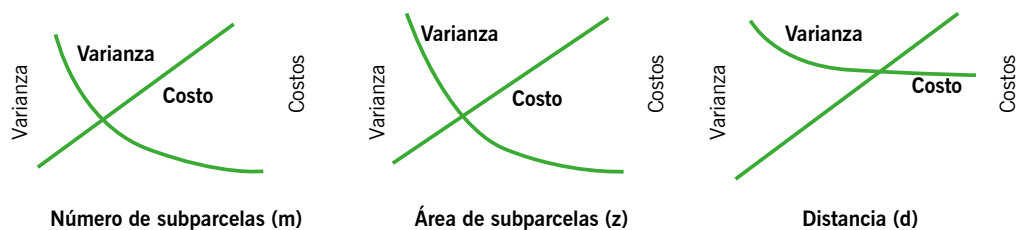
Donde,  $b$  = coeficientes de la regresión ( $b_0$ ,  $b_m$ ,  $b_d$  y  $b_z$ )  
 $m$  = número de subparcelas  
 $d$  = distancia entre subparcelas  
 $z$  = área de las subparcelas

Estos modelos se basan en estudios previos donde se ha demostrado que la varianza disminuye al aumentar el número de subparcelas (m), el tamaño de la subparcela (z) y la distancia entre ellas (d). Sin embargo, debido a que el costo es inversamente proporcional, se debe buscar el punto óptimo entre las tres variables y los costos asociados, como se muestra en la figura 4 (Scott, 1993).

Los coeficientes de la regresión ( $b$ ) de cada atributo priorizado deben obtenerse de datos previos sobre el comportamiento de la varianza, para luego utilizarlos en el cálculo de los coeficientes de variación de todas las configuraciones construidas en el paso anterior. Los datos de varianza utilizados fueron los del Inventario de Bosques de Producción Permanente de Loreto, debido a que fueron los únicos con metadatos. Conscientes de que estos datos son útiles únicamente para Selva baja, los coeficientes de variación para las otras sub-poblaciones fueron ajustados por medio de consulta a los expertos. Por esta razón, es recomendable que luego de la colecta de los primeros datos de cada sub-población, se validen las decisiones actuales del diseño.



**Figura 4.** Relaciones varianza - costos para: a) número de subparcelas, b) áreas (tamaño) de subparcelas, c) distancia de subparcelas



VI. Se calculó el tamaño de la muestra para cada subpoblación. Este proceso consiste en determinar la cantidad de parcelas de medición que se necesitan para alcanzar las metas de precisión (cuadro 3) de cada atributo de interés en el área de reporte<sup>4</sup> determinada para cada subpoblación. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \left( \frac{t CV\%}{E\%} \right)^2$$

Donde,  $n$  = número total de muestras o parcelas

$t$  = valor tabular de  $t$  al 95% de nivel de confianza

$CV\%$  = coeficiente de variación de cada atributo de interés de cada configuración de parcela, expresado en porcentaje

$E\%$  = error de muestreo esperado

El atributo de interés que requiere mayor número de parcelas es el que determina el tamaño de muestra para la subpoblación.

VII. Se calcularon los costos de levantamiento para cada configuración de parcela y tamaño de la muestra ( $n$ ) para cada subpoblación. Se utilizaron los costos y tiempos básicos del paso I para obtener los costos por parcela y el costo total por subpoblación. La herramienta ordena las combinaciones en forma ascendente en relación al costo total y muestra las diez mejores alternativas.

VIII. Se analizaron las configuraciones de las seis subpoblaciones, con la finalidad de ajustar y armonizar los diseños finales. La decisión final fue utilizar tres configuraciones de parcelas para las seis subpoblaciones, agrupadas así: i) Selva baja, ii) Selva alta accesible, Selva alta de difícil acceso e Hidromórfica y iii) Costa y Sierra. Las configuraciones se describen en el capítulo 7.

IX. Como paso final, se realizó un análisis de sensibilidad de la herramienta. Para cada subpoblación, se compararon los costos asociados a la configuración de la parcela seleccionada con los costos que implicaría la configuración de parcelas de los siguientes inventarios de gran escala: i) Inventario de Bosques de Producción Permanente de Loreto (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2013), ii) Inventarios de vegetación desarrollados por el Ministerio del Ambiente del Perú, iii) Evaluación Nacional Forestal de Ecuador (Aguirre et al. 2006) y iv) Programa de Evaluación e Inventarios Nacionales Forestales de FAO (FAO, 2009). En el cuadro 4, se muestra el ejemplo del análisis de sensibilidad para Selva baja, y se puede observar que su configuración implicaría levantar menos parcelas en la subpoblación, los costos por parcela son los más bajos y por ende, el costo total también sería menor.

<sup>4</sup> El área mínima de reporte de las subpoblaciones de Costa, Sierra, Hidromórfica y Selva alta difícil es el área total de bosque estimada en cada una de ellas. Para Selva baja es el área de bosque estimada de los bosques de terraza y para Selva alta accesible es el área de los bosques de montaña, basado en el mapa de cobertura vegetal (Ministerio del Ambiente del Perú, 2009)

Cuadro 4. Análisis de sensibilidad de la configuración de parcela seleccionada para la subpoblación de Selva baja

Atributo	Selva baja INF Perú	IBPP Loreto	ENF Ecuador	Evaluación de vegetación MINAM	NFMA FAO
No. Sp <sup>a</sup> . Árboles (30+cm DAP)	7	4	3	1	4
Área (ha) Sp. Árboles (30+ cm DAP)	0.100	0.250	0.360	1.000	0.500
No. Sp. Fustales 10-30 cm DAP	7	4.000	3	1	4
Área (ha) Sp. Fustales 10-30 cm DAP	0.040	0.050	0.040	1.000	0.060
No. Sp. Latizales >3 m & <10 cm DAP	2	4	3	2	4
Área (ha) Sp. Latizales >3 m y <10 cm	0.010	0.010	0.005	0.010	0.005
No. Sp. Brinzales 1-3 m	2	4	4	4	4
Área (ha) Sp Brinzales 1-3 m	0.0050	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
Forma de la parcela (C,L,R) <sup>b</sup>	L	C	L	R	R
Distancia entre subparcelas (m)	75	100	250	0	250
Número aproximado de parcelas a medir	776	802	838	843	782
Distancia entre parcelas (km)	24.7	24.3	23.8	23.7	24.6
Tiempo de medición de la parcela (horas)	10.6	11,8	10.9	17.1	22.5
No. Parcelas/brigada/viaje	4.12	4.06	4.19	3.69	3.27
Costo promedio por parcela (Soles)	10 484	10 598	10 363	11 402	12 433
<b>Costo total de la ecozona Selva Baja (Soles)<sup>d</sup></b>	<b>10 640 165</b>	<b>11 121 324</b>	<b>11 341 372</b>	<b>12 695 281</b>	<b>12 945 296</b>

a) Sp =subparcela

b) C=circular, L= escuadra o L y R= rectangular

c) Es la primera estimación del número de parcelas a visitar. Después de un análisis más exhaustivo, este número se incrementó a 803 (capítulo 8).

d) Los costos presentados son en soles peruanos y son referenciales para este análisis. Los costos reales se deben ajustar según las decisiones finales sobre las parcelas a medir en el campo y la modalidad administrativa a utilizar.

# 7. CONFIGURACIÓN DE LAS PARCELAS DE MEDICIÓN

A continuación se describen las tres configuraciones de parcelas de medición del INFFS, que resultaron del procedimiento descrito en el capítulo 6.

## 7.1. PARCELA DE MEDICIÓN DE LAS SUBPOBLACIONES O ECOZONAS COSTA Y SIERRA

La diferencia entre este diseño y el anterior radica en las dimensiones de los árboles a medir en cada tipo de subparcela.

En la figura 7 se muestra el diseño de las parcelas, que consiste en un conglomerado en forma de “L”, con un eje de dirección Norte y otro de dirección Este, ambos con una longitud de 276.2 m.

La superficie total de la parcela (P) es de 5 000 m<sup>2</sup> equivalente a 0.5 ha, dividida en 10 subparcelas (Sp) circulares de 12.62 metros de radio, equivalentes a 500 m<sup>2</sup> o 0.05 ha, donde se medirán los árboles mayores de 10 cm de DAP. La distancia entre subparcelas es de 30 m.

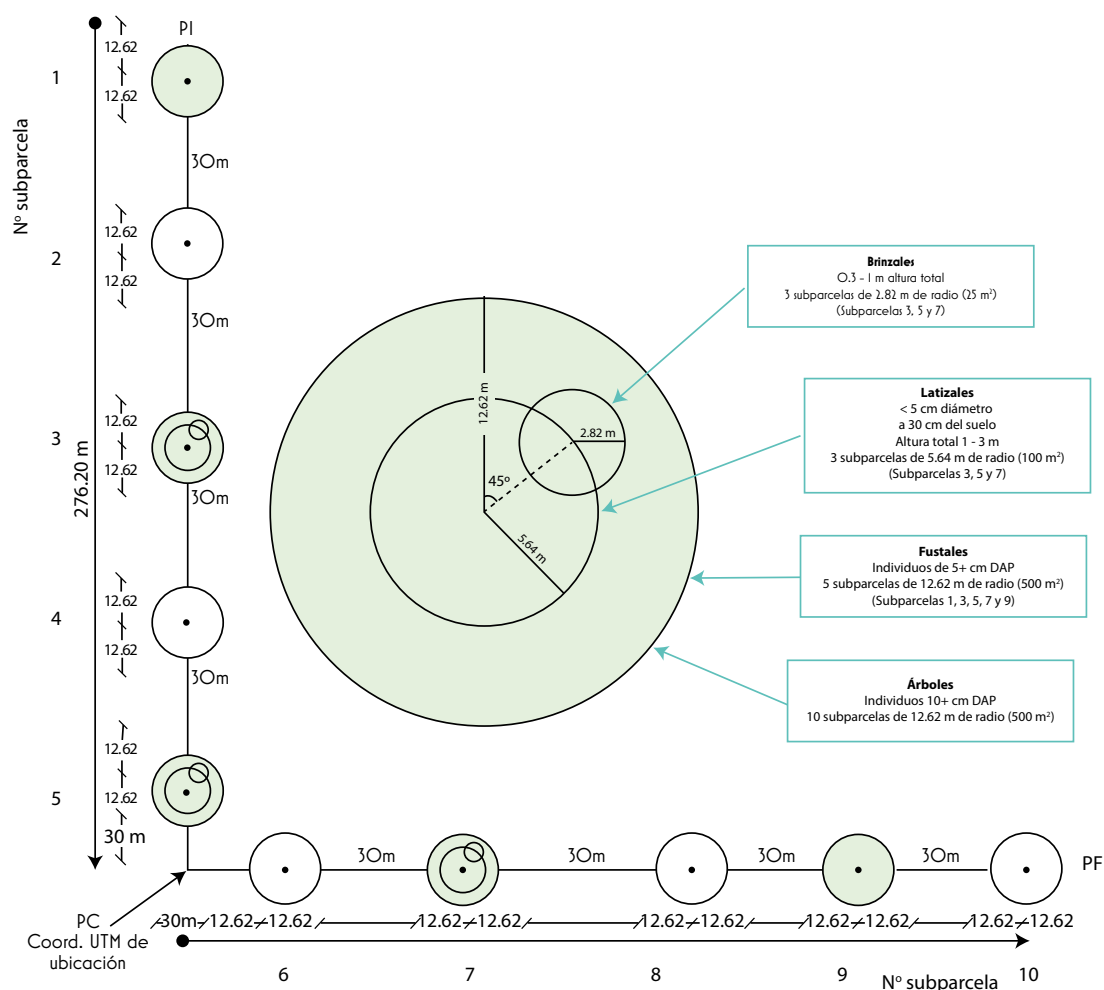
En las subparcelas 1, 3, 5, 7 y 9 se medirán los fustales, que se definen como árboles en crecimiento entre 5-9,99 cm DAP.

La regeneración se medirá en parcelas anidadas dentro de las subparcelas (Sp) 3, 5 y 7. Los latizales, es decir árboles en crecimiento con diámetro menor a 30 cm del suelo y una altura entre 1 y 3 m, se medirán en subparcelas (Sp-la) de 5,64 m de radio, equivalente a 100 m<sup>2</sup> o 0.01 ha. Los brinzales o árboles en crecimiento con alturas entre 0.3 y 1 m se medirán en subparcelas (Sp-br) de 2,8 m de radio, equivalente 25 m<sup>2</sup> o 0.0025 ha, a 45 grados del centro de las subparcelas 3, 5 y 7.

Este diseño presenta las siguientes ventajas:

- Los dos ejes de la forma en “L” permiten capturar la variabilidad hacia dos direcciones dentro de un bosque.
- La forma circular facilita las mediciones en subparcelas de 0.5 ha o menores en cualquier tipo de bosque.
- La dimensión total de la parcela es suficiente para la captura la diversidad de árboles de Costa y Sierra.
- Aunque la distancia entre subparcelas no permite la utilización individual de todas las subparcelas para realizar análisis de teledetección con imágenes de mediana resolución, pueden ser analizadas alternadamente.
- Se han optimizado las mediciones utilizando diferentes dimensiones de subparcelas según el tamaño de los elementos a medir y las metas de precisión fijadas.

**Figura 5.** Configuración de la parcela de medición para Costa y Sierra



## 7.2. PARCELA DE MEDICIÓN DE LAS SUBPOBLACIONES O ECOZONAS HIDROMÓRFICA, SELVA ALTA ACCESIBLE Y SELVA ALTA DIFÍCIL

En la figura 6 se muestra el diseño de las parcelas de medición para las ecozonas de Selva alta accesible, Selva alta difícil y zona Hidromórfica. Se trata de un conglomerado de subparcelas dispuestas en forma de "L", con un eje de dirección Norte y 276,2 m de longitud y otro de dirección Este con la misma longitud.

La superficie total de la parcela (P) es de 5 000 m<sup>2</sup>, equivalente a 0.5 ha, dividida en 10 subparcelas (Sp) circulares de 12.62 metros de radio, equivalentes a 500 m<sup>2</sup> o 0.05 ha, donde se medirán los árboles mayores de 30 cm de DAP. La distancia entre subparcelas es de 30 m.

En las subparcelas 1, 3, 5, 7 y 9 se medirán los fustales o árboles en formación entre 10 - 29.9 cm DAP.

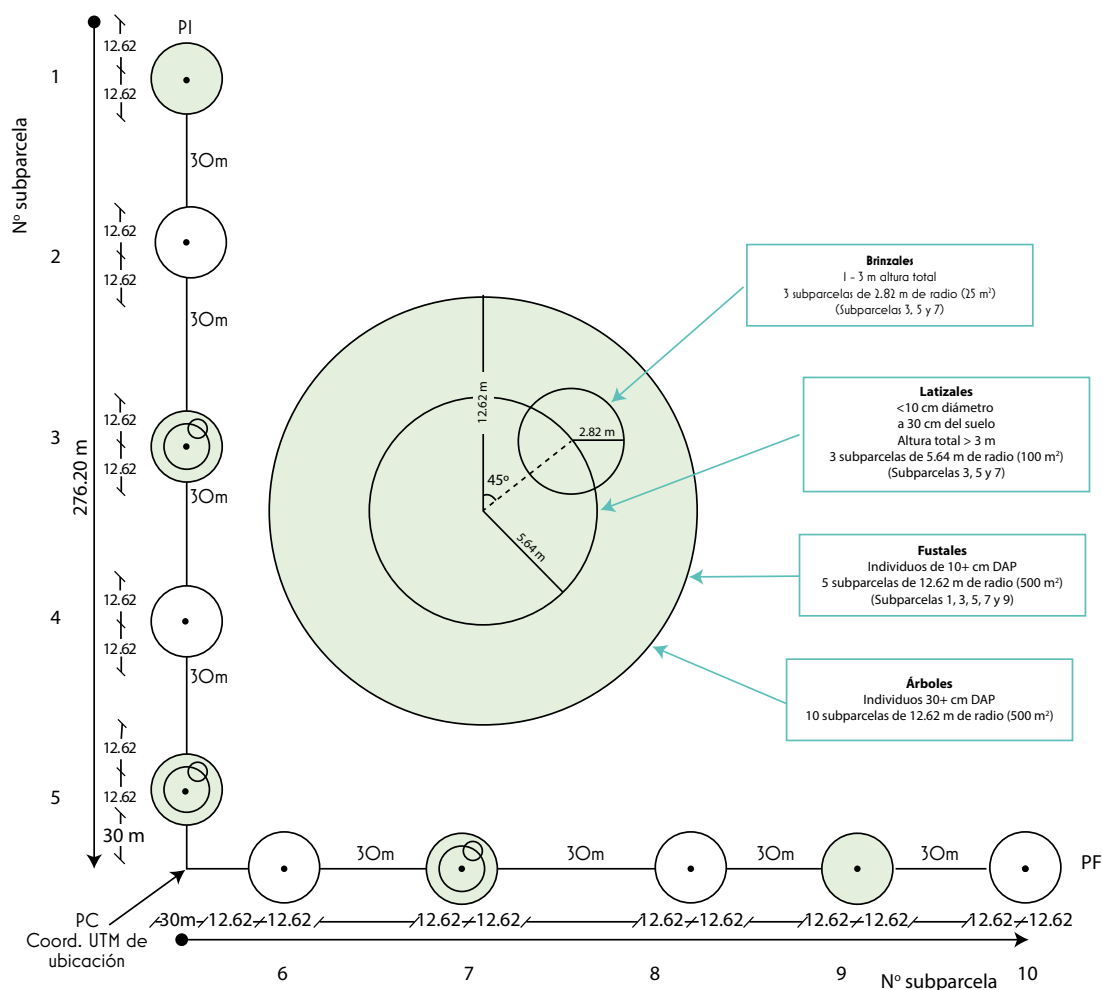
La regeneración se medirá en subparcelas anidadas dentro de las subparcelas 3, 5 y 7. Los latizales, es decir árboles en crecimiento con DAP menor a 10 cm y una altura mayor de 3 m, se medirán en subparcelas (Sp-la) de 5.64 m de radio, equivalente a 100 m<sup>2</sup> o 0.01 ha. Los brinzales o árboles en crecimiento con alturas entre 1 y 2.99 m se medirán en

subparcelas (Sp-br) de 2.8 m de radio, equivalente a 25 m<sup>2</sup> o 0.0025 ha, a 45 grados del centro de las subparcelas 3, 5 y 7.

Este diseño presenta las siguientes ventajas:

- Los dos ejes de la forma en "L" permiten capturar la variabilidad hacia dos direcciones dentro de un bosque.
- La forma circular facilita las mediciones en subparcelas de 0.5 ha o menores en cualquier tipo de bosque.
- La dimensión total de la parcela es aceptable para capturar la diversidad de árboles en bosques heterogéneos de Selva alta.
- Aunque la distancia entre subparcelas no permite la utilización individual de todas estas para el análisis de teledetección con imágenes de mediana resolución, puede ser analizada alternativamente.
- Se han optimizado las mediciones utilizando diferentes dimensiones de subparcelas según el tamaño de los elementos a medir y las metas de precisión fijadas.

**Figura 6.** Configuración de la parcela de medición para las ecozonas Hidromórfica, Selva alta accesible y Selva alta difícil



### 7.3. PARCELA DE MEDICIÓN DE LA SUBPOBLACIÓN O ECOZONA SELVA BAJA

Consiste en un conglomerado de subparcelas dispuestas en forma de "L" (figura 5). Un eje tiene dirección Norte y una longitud de 385 m, mientras que el otro tiene dirección Este y una longitud de 425 m.

La superficie total de la parcela (P) es de 7 000 m<sup>2</sup>, equivalente a 0.7 ha y dividida en 7 subparcelas (SP) rectangulares de 50 metros de largo por 20 metros de ancho. Estas equivalen a 0.1 ha cada una, siendo la distancia entre subparcelas de 75 m.

En las siete subparcelas se medirán los árboles mayores de 30 cm de DAP. Cada subparcela está constituida por 2 unidades de registro (UR) con dimensiones de 25 metros de largo por 20 metros de ancho, equivalente a 500 m<sup>2</sup> o 0.05 ha.

En las unidades de registro de números pares se medirán los fustales, definidos como árboles en formación entre 10 y 29.9 cm de DAP.

La regeneración se medirá en subparcelas anidadas en las UR2 de las subparcelas 2, 4 y 6. Los latizales, es decir los árboles en crecimiento con DAP menor a 10 cm y una altura mayor a 3 m, se medirán en subparcelas (Sp-la) de 10 por 10 metros, equivalente a 100 m<sup>2</sup> o 0.01 ha. Los brinzales o árboles en crecimiento con alturas entre 1 y 2.99 m se medirán en subparcelas (Sp-br) de 2.8 m de radio, equivalentes a 25 m<sup>2</sup> o 0.0025 ha.

Este diseño presenta las siguientes ventajas:

- Los dos ejes de la forma en "L" permiten capturar la variabilidad hacia dos direcciones dentro de un bosque.
- La forma rectangular facilita las mediciones en bosques densos como los de Selva baja respecto a la forma circular para subparcelas mayores de 0.5 ha.
- La dimensión total de la parcela es aceptable para capturar la diversidad de árboles para bosques heterogéneos.
- La distancia entre subparcelas permite la utilización individual de las subparcelas para realizar análisis de teledetección.
- Se han optimizado las mediciones utilizando diferentes dimensiones de subparcelas según el tamaño de los elementos a medir y las metas de precisión fijadas.





La superficie mínima de reporte presentada en el cuadro 5, se refiere al área mínima que es posible reportar a la meta de precisión fijada en el capítulo 5. Para las subpoblaciones Hidromórfica, Costa, Sierra y Selva alta difícil corresponde a la misma área de bosque estimada en el mapa de cobertura vegetal (Ministerio del Ambiente del Perú, 2009). Para Selva baja corresponde a la superficie de bosque de terrazas y para Selva alta accesible a la superficie estimada de bosques de montaña.

**Cuadro 5.** Tamaño de la muestra por subpoblación y distancia promedio de las parcelas

Ecozona o subpoblación	Total de parcelas de muestreo	Distancia promedio parcelas (km)
Selva baja	808	24
Hidromórfica	91	31
Selva alta accesible	288	20
Selva alta difícil	101	34
Costa	460	19
Sierra	5 545	8
<b>Total población</b>	<b>7 293</b>	

Superficie de bosque y metas de precisión calculadas en base a datos del mapa de cobertura vegetal del Ministerio del Ambiente del Perú, 2009.

Una vez determinado el tamaño de la muestra, se procedió a la selección geográfica de los puntos de muestreo. El proceso desarrollado combina características de muestreo sistemático y muestreo al azar, comúnmente llamado muestreo sistemático no alineado.

Como se muestra en la figura 8, se construyeron cuadrículas en cada subpoblación, cuyo tamaño depende del número de muestras necesarias para cada una de estas (cuadro 5). Para calcular la longitud de la cuadrícula se utilizó la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{a/n}$$

Donde,  
 d = distancia o longitud de la cuadrícula  
 a = área de la subpoblación  
 n = número de muestras requeridas

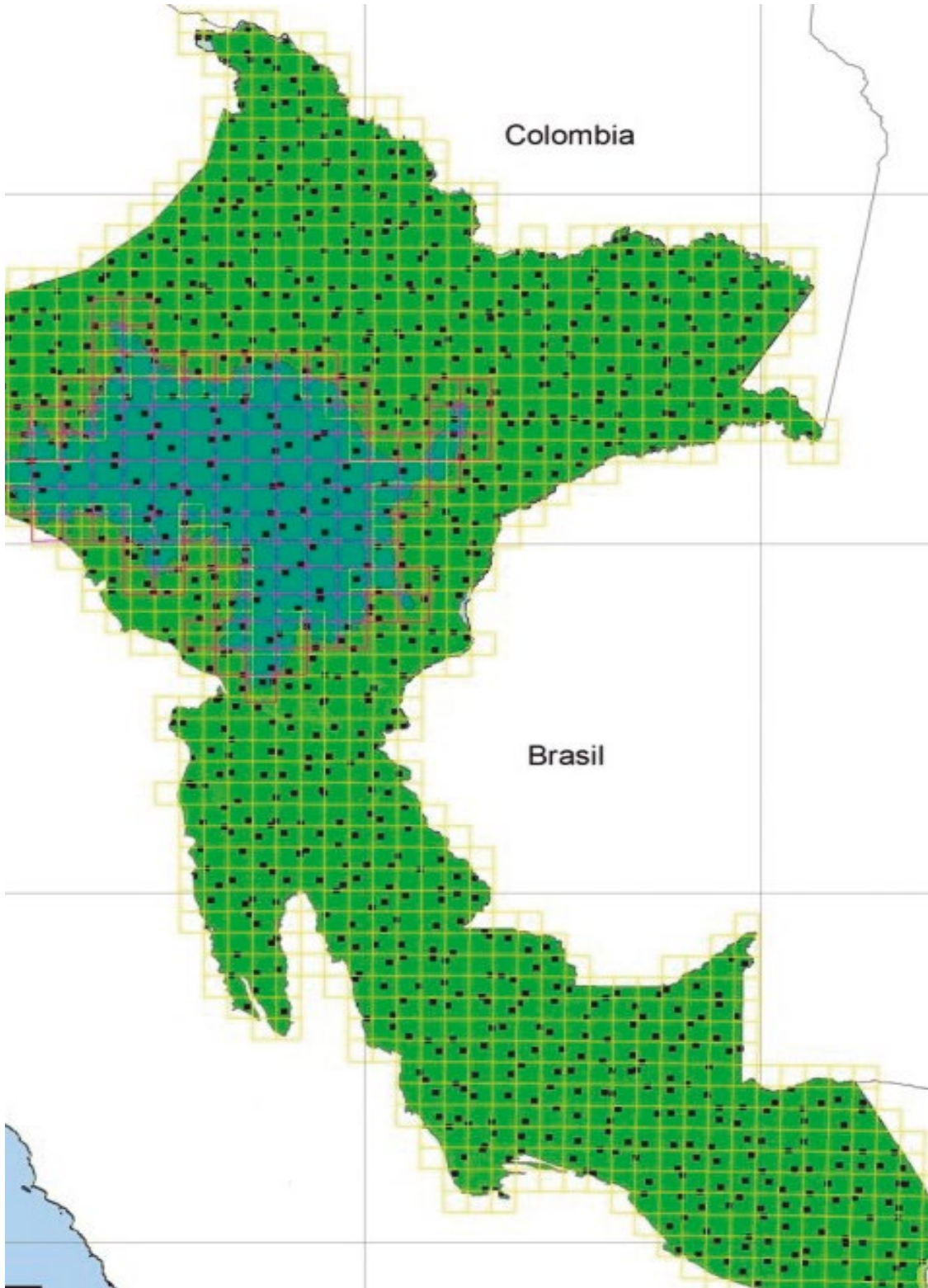
En la última columna del cuadro 5, se presenta el resultado de la longitud de la cuadrícula para cada subpoblación. Dentro de cada celda de la cuadrícula se seleccionó un punto al azar, como se muestra en la figura 9.

**Figura 8.** Cuadrículas del INFFS para la selección de muestras por subpoblación



Fuente: Fuente propia.

**Figura 9.** Selección de muestra aleatoria dentro de cada cuadrícula



Fuente: Fuente propia.



Figura 10. Distribución final de muestras del INFFS



Fuente: Fuente propia.

La distribución de muestras final se muestra en la figura 10, donde cada punto representa el vértice o punto central de la parcela de medición.

Las siguientes características del diseño responden a las condiciones establecidas en el capítulo 4 sobre monitoreo permanente y facilitación de la movilización de recursos económicos, logísticos y humanos. Durante el Taller de criterios para la metodología y diseño del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Ramírez, 2012), se discutieron las siguientes opciones sobre la distribución temporal de la muestra para inventarios permanentes:

- Inventarios periódicos, existe un período de tiempo entre cada medición (ejemplo, cada 5 años).
- Inventario continuo, las mediciones son anuales a partir de una submuestra de la población (ejemplo, 20% cada año en un período de 5 años).

Para el INFFS se decidió por un inventario continuo porque facilita el proceso de institucionalización, la planificación de presupuesto, la construcción de capacidades, la permanencia del aprendizaje de los recursos humanos y facilidad de movilización de recursos económicos, logísticos y humanos. Los inventarios continuos son ejecutados en Austria, Finlandia, Francia, Suecia y Estados Unidos (Köhl y Scott, 1998).

Para inventarios continuos se deben construir paneles, que consisten en submuestras que pueden ser medidas de forma independiente y que equivalen a toda la población (Czaplewski y Thompson, 2009). La selección o distribución de la submuestra en los paneles puede ser de dos formas (Pekkarinen, 2011):

- Distribución según zonas o regiones.
- Distribución sistemática en todo el país.

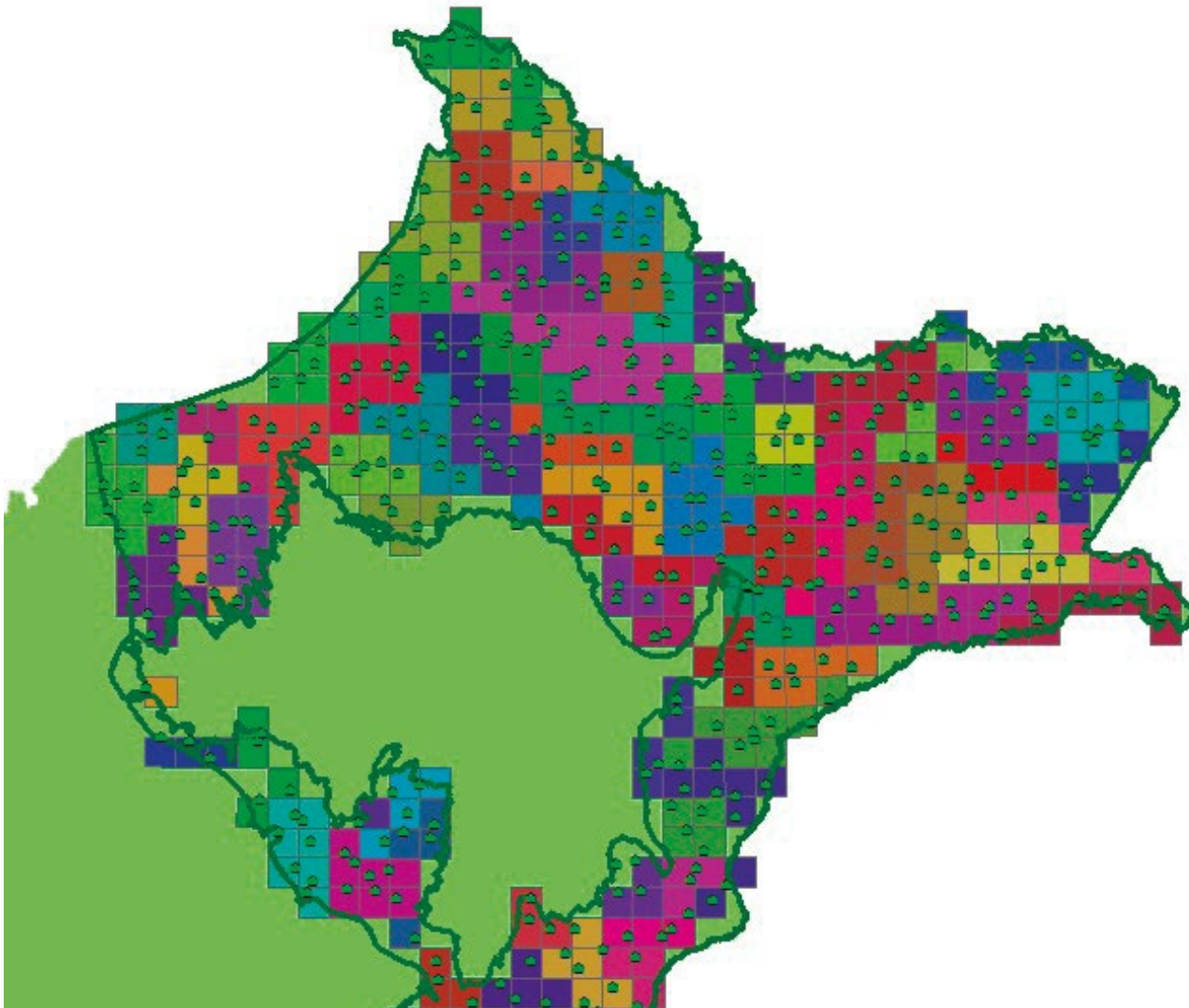
La primera opción tiene la ventaja de facilitar la logística, pero tiene la desventaja de que cada zona o región tiene que esperar cinco años para actualizar su información y un financiamiento incierto puede resultar en un inventario nacional incompleto. La segunda opción al inicio es logísticamente más desafiante, sin embargo, se obtendrían datos nacionales desde el primer año. Esto facilita la institucionalización en regiones, porque continuamente se están realizando mediciones, por ende, también facilita la permanencia del aprendizaje a nivel regional.

Para el Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre se optó por paneles con distribución sistemática de las submuestras, cada uno con aproximadamente el 20% de la muestra total en cada subpoblación. Se espera que un panel se mida cada año, por lo que un ciclo de levantamiento del INFFS sería de cinco años.

La selección de submuestras de forma sistemática puede ser individual o en grupos. La primera opción puede resultar logísticamente menos eficiente, especialmente en condiciones de difícil accesibilidad. Por esta razón para optimizar la formación de los paneles, se agruparon las unidades de muestreo con base en la planificación logística del trabajo de campo, de tal forma que cada grupo de parcelas se pueda medir en un viaje de una o dos brigadas en un mes laboral como tiempo máximo. Durante la agrupación también se consideró la homogeneización de la muestra según la presencia de bosque, es decir, en las zonas de borde de bosque y en aquellas con bosques fragmentados, los grupos deberían contener un número balanceado de parcelas con bosque y parcelas sin bosque.

Para formar los grupos se utilizó información de las vías de accesos, delimitación de cuencas, fisiografía, hidrografía y presencia de bosque. En la figura 11 se muestra un ejemplo de la agrupación de parcelas para la subpoblación de Selva baja en el departamento de Loreto.

**Figura 11.** Ejemplo de agrupación de puntos de muestreo en la ecozona de Selva baja, departamento de Loreto

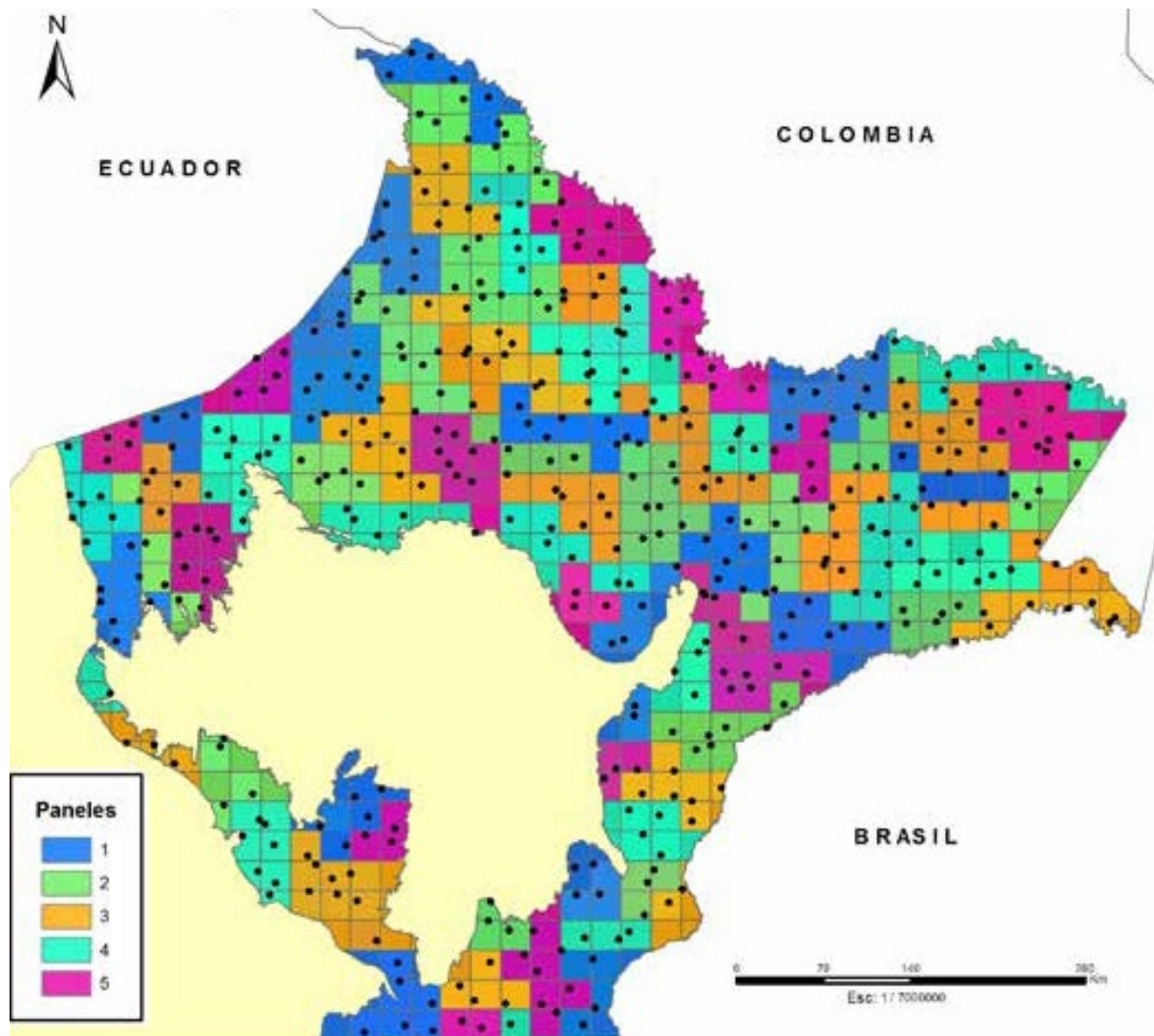


Fuente: Fuente propia.

El diseño de grupos de parcelas se comporta como un muestreo bietápico, donde los grupos son las unidades primarias y las parcelas de medición son las secundarias. Por esta razón, durante los primeros cinco años de medición se deberá utilizar un estimador insesgado para submuestreo de unidades de tamaño desigual (Cochran, 1977). Durante los primeros paneles, los errores de muestreo serán más altos por tratarse de un porcentaje de la muestra. Sin embargo, en el transcurso de los cinco paneles, las precisiones de los datos irán mejorando y al finalizar el primer ciclo, este problema no existirá porque a partir de este momento se tendrá la muestra completa. Para construir los paneles se buscó una distribución homogénea de los grupos de parcelas en cada subpoblación (figura 12).



**Figura 12.** Ejemplo de la distribución de paneles para la ecozona de Selva baja, departamento de Loreto



Fuente: Fuente propia.

El diseño temporal y espacial seleccionado tiene muchas ventajas logísticas y administrativas, ya que permite distribuir los costos totales del INFFS en cinco años y la movilización de fondos por parte del Estado peruano. Por otro lado, la distribución sistemática de grupos de parcelas en todo el territorio facilita el manejo de recursos humanos en las unidades operativas de campo de las regiones, además obliga a planificar actividades de forma anual, por lo que el personal desarrollaría sus capacidades en esta temática de manera continua. Otra ventaja muy importante es la disponibilidad de información anual, ya que los datos se actualizarían de forma continua, a diferencia de los inventarios periódicos, donde el país o región subnacional esperaría cinco años para la actualización de la información.

Es importante notar que el diseño no utiliza una estratificación previa por tipos de bosque como ocurre con frecuencia en inventarios de una sola medición<sup>5</sup>. En efecto, la estratificación previa hace más eficiente este tipo de inventarios porque estandariza la varianza dentro de cada estrato basado en tipos de bosque. Sin embargo, para inventarios continuos o periódicos, como en el caso del INFFS, complica sustancialmente el cálculo debido a que los bosques son estratos cuya superficie puede cambiar con el tiempo. No obstante, para mejorar el análisis de los datos, se recomienda utilizar técnicas como la estratificación a posteriori y el desarrollo de modelos geoestadísticos, en los que se utilizan datos de varias fuentes (campo y sensores remotos).

<sup>5</sup> Como los inventarios para planes de manejo o los de bosques de producción permanente.

# 9. OBSERVACIONES Y MEDICIONES

Las estimaciones se realizan sobre el conjunto de datos obtenidos de las estimaciones y observaciones de cada uno de los elementos de la población, por ejemplo, en una parcela se mide el diámetro a la altura del pecho de los árboles<sup>6</sup> y con esta información se obtienen las estimaciones del volumen total en los bosques de la población. Para realizar las mediciones y observaciones, se pueden combinar recursos de sensores remotos con mediciones de campo para optimizar la colecta de datos en inventarios forestales (Kleinn y Bhandari, 2004).

## 9.1. COLECTA DE DATOS MEDIANTE SENSORES REMOTOS

El primer dato que colecta el INFFS es la clase de uso de la tierra en las parcelas de medición mediante sensores remotos. Para ello, se utiliza la herramienta Collect Earth de la iniciativa Open Foris de la FAO.

El objetivo principal del análisis es clasificar la parcela como visitable al campo. Una parcela visitable es aquella donde al menos una subparcela se ubica en área de bosque o aquellas parcelas donde no es posible determinar la cobertura por la presencia de nubes o sombra. Debido a que el análisis depende de las imágenes disponibles en Google Earth u otros recursos gratuitos, es necesario registrar el año de la imagen, para apoyar la interpretación de la información.

En el cuadro 6 se muestra el resultado del primer análisis, y se puede observar que existen aproximadamente 1 876 parcelas que serán visitadas en campo. En las subpoblaciones de Selva alta difícil, Selva alta accesible, Selva baja e Hidromórfica serán visitadas más del 90% de las parcelas seleccionadas. En la Costa serán visitadas el 24% de las parcelas y en la Sierra solamente el 9%. Como es esperado, el bajo porcentaje en Sierra se debe a que los bosques en esta subpoblación son dispersos y de poca superficie. Este análisis es una primera aproximación, por lo que deberá ser validado por expertos de cada una de las regiones del país.

**Cuadro 6.** Número de parcelas de medición del INFFS a ser visitadas en campo

Ecozona o sub-población	Total UM	Parcelas visitables
Costa	460	<b>112</b>
Sierra	5 545	<b>488</b>
Selva Alta difícil	101	<b>101</b>
Selva Alta accesible	288	<b>261</b>
Selva Baja	808	<b>804</b>
Hidromórfica	91	<b>88</b>
<b>Total población</b>	<b>7 293</b>	<b>1854</b>

La utilización de muestreo con sensores remotos también puede utilizarse para estimar el cambio de uso de la tierra y las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero producto de los cambios. Este método es recomendado en las Orientaciones sobre buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2003). También

<sup>6</sup> Para el INFFS, en adelante, entiéndase al término “árboles” como una generalización de los individuos pertenecientes a los hábitos de crecimiento palmeras, árboles, helechos, arbustos, lianas, y en general aquel que alcance la talla mínima de medición según la posición en la unidad muestral.

se recomienda utilizar una combinación de sensores remotos e información de campo. Los datos de campo pueden ser utilizados para medir cambios de uso directamente, pero también pueden ser utilizados para apoyar la interpretación de imágenes de satélite. La ventaja de utilizar el muestreo para estos análisis es que se puede calcular inmediatamente el error de estimación, lo cual es necesario para el cálculo de incertidumbres.

## 9.2. COLECTA DE DATOS DE CAMPO

La recopilación de datos en campo del INFFS se realiza en dos momentos. En el primer momento se recopila la siguiente información durante el acceso a la parcela hasta el punto central o vértice de las parcelas:

- Puntos de referencia de acceso, los cuales sirven para el control de calidad del trabajo de las brigadas, para mejorar los datos de tiempos y costos, necesarios para verificar la planificación del levantamiento de campo y para facilitar el ingreso de futuras mediciones.
- Datos sobre uso de la tierra, donde se describe la clase de uso actual y se colecta un punto de GPS, esta información se recopila para los análisis de cobertura mediante sensores remotos.
- Datos sobre avistamientos y rastros de fauna silvestre.

Al llegar al punto central con las coordenadas establecidas para la ubicación de las parcelas se registran datos sobre la ubicación de la marca permanente (todas las parcelas del INFFS son de carácter permanente).

El segundo momento de la colecta de datos, se realiza en las parcelas siguiendo las configuraciones del capítulo 7 y se registran los siguientes atributos en las parcelas:

- Condiciones de los ecosistemas visitados, identificación de cambios de uso de la tierra, perturbaciones naturales y antropógenas, fisiografía, estado de los bosques con afectación antrópica.
- Árboles vivos, de los cuales se obtendrá la especie, medidas de diámetro, condiciones de salud y uso.
- Árboles muertos en pie y tocones para obtener estimación de la necromasa y condiciones del estado los bosques.
- Regeneración natural.
- Avistamientos y rastros de fauna silvestre y variables de vegetación asociadas.

La metodología se encuentra en proceso de definición de otras variables, como el carbono orgánico de suelos y árboles muertos yacentes, a través de estudios especiales en algunas parcelas. Conforme se mejoren las metodologías y tecnologías de estas variables, se incorporarán al muestreo total del INFFS.

La metodología específica para medición y observaciones se detalla en los tres manuales de campo, uno por cada configuración de parcelas. Los datos del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre son almacenados en la herramienta de colecta de la iniciativa Open Foris de la FAO, denominada Collect, para computadoras convencionales y Collect Mobile, para colectores portátiles de datos (FAO, 2014).

Una consideración final a este marco metodológico es la mejora continua. Por ello se recomienda que se evalúe la respuesta de la metodología y sus diferentes procedimientos de acuerdo a las necesidades de información en cada subpoblación.

# BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, N., Añazco, M., Cueva, K., Pekkarinen, A., Ramírez, C., Salazar, X. y Sánchez, G. 2010. *Evaluación Nacional Forestal: manual de Campo*. Quito: Ministerio de Ambiente del Ecuador

Cochran, W. G. 1977. *Sampling techniques*. 3ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc.

Czaplewski, R. y Thompson, M. 1999. *Opportunities to Improve Monitoring of Temporal Trends with FIA Panel Data*. En McWilliams, W., Moisen, G. & Czaplewski, R. *Forest Inventory and Analysis (FIA) Symposium 2008*, p. 33-55. Park City, UT, Fort Collins, CO, U.S.: Department of Agriculture, Forest Service

FAO. 2008. *Integrated Land Use Assessment of Kenya. Field Manual*. Roma: Autor  
Disponible en <http://www.fao.org/forestry/16186-0a5ec8b9ed431eaf067be4555c17d1ec.pdf>

FAO. 2009. *Monitoreo y evaluación de los recursos forestales nacionales. Manual para la recolección integrada de datos de campo*. Versión 2.2. Documento de Trabajo de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales. 3ª ed. Roma: Autor

FAO. 2010. *Global Forest Resources Assessment. Main Report. Forestry Paper 163*. Roma: Autor

FAO. 2011. *Expert meeting on assessment of forest inventory approaches for REDD+. Meeting Report 8. UN-REDD Programme*. Roma: Autor  
Disponible en [http://www.unredd.org/Newsletter21/Forest\\_Inventory\\_Approaches\\_for\\_REDD/tabid/54812/Default.aspx](http://www.unredd.org/Newsletter21/Forest_Inventory_Approaches_for_REDD/tabid/54812/Default.aspx)

FAO. 2014. *Iniciativa Open Foris*. Disponible en <http://www.openforis.org>

Fjelsa J. y Kessler M. 1996. *Conserving the biological diversity of Polylepis woodlands of the highland of Peru and Bolivia*. Copenhague: NORDECO

Gosling W., Hanselman J., Knox C., Valencia B. y Bush M. 2009. *Long-term drivers of change in Polylepis woodland distribution in the central Andes*. *Journal of Vegetation Sciences*, 20(6): 1041-1052

Instituto Nacional Forestal de Nicaragua. 2009. *Resultados del Inventario Nacional Forestal: Nicaragua 2007-2008*. Managua: INAFOR

IPCC. 2003. *Orientaciones sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Suiza: IPCC

Kleinn C. y Bhandari N. 2004. *Observations and Measurements, National Forest Assessment Knowledge Reference for National Forest Assessment*. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/7727/en/>

Köhl, M. y Scott, Ch. 1998. *A Comparison of Periodic versus Permanent Surveys*. En Hansen, M. & Burk, T., editores. *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century*, p. 94-103. Boise, Idaho: Society of American Forests.

Mc Roberts, R. 2005. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program*. En Bechtold, W. y Patterson, P., editores. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program - National Sampling Design and Estimation Procedures*, p. 1-10. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service.

Mc Roberts, R., Tomppo E., Czaplewski R. 2014. *Sampling Design for National Forest Assessment. Knowledge Reference for National Forest Assessment*. Disponible en: [www.fao.org/forestry/fma/en/](http://www.fao.org/forestry/fma/en/)

Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. 2011. *Ley Forestal y de Fauna Silvestre*. Lima

Perú. Ministerio de Agricultura. 2013. *Manual base para la planificación y ejecución de inventarios forestales en bosques de producción permanente*. Lima

Perú. Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio del Ambiente y FAO. 2016. *Memoria descriptiva del mapa de Ecozonas*. Lima

Perú. Ministerio del Ambiente. 2009. *Política Nacional del Ambiente*. Decreto supremo No 012-2009-MINAM del 23 de mayo de 2009

Perú. Ministerio del Ambiente. 2010. *Perú ante el Cambio Climático, Segunda Comunicación del Perú ante la Convención Marco de Naciones Unidas Ante el Cambio Climático*. Lima

Perú. Ministerio del Ambiente. 2012. *Memoria Descriptiva. Mapa de cobertura vegetal del Perú*. Lima

Patterson, P. y Reams, G. A. 2005. *Combining Panels for Forest Inventory and Analysis Estimation*. En Bechtold, W. & Patterson, P. (editores). *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program - National Sampling Design and Estimation Procedures*, p. 69–74. Asheville, NC, U.S: Department of Agriculture, Forest Service

Ramirez C. 2012. *Memorias: Taller sobre criterios para la metodología y diseño del Inventario Nacional Forestal*. Lima: MINAGRI, MINAM y FAO

Scott, Ch. 1993. *Optimal Design of a Plot Cluster for Monitoring. The optimal design of forest experiments and forest surveys*, Sept 10-14. pp 233-242, *School of Math, Statistics and Computing - Univ. of Greenwich*

*Zambia Forestry Department - Ministry of Tourism, Environment and Natural Resources & FAO. 2008. Integrated Land Use Assessment (ILUA)*, Lusaka. Zambia: MTENR - FAO





Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



MINISTERIO DE ASUNTOS  
EXTERIORES DE FINLANDIA