

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE MADERAS TROPICALES (OIMT)
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON (UMSS)
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES (ESFOR)
PROGRAMA DE POSTGRADO EN MANEJO SOSTENIBLE DE BOSQUES TROPICALES
CURSOS DE ESPECIALIZACION

*Curso de Especialización en Manejo Sostenible de
Bosques Tropicales
Modalidad Semipresencial*

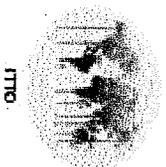
MATERIAL DIDÁCTICO DEL CURSO INVENTARIOS FORESTALES

(Curso 2 Módulo II)

Del 17 de Febrero al 16 de Marzo



**VICE-MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE RECURSOS
NATURALES Y DESARROLLO FORESTAL**



Cochabamba, Febrero de 2003

(6 Jun. '03
M7925

CONTENIDO

1. INTRODUCCION AL CURSO DE INVENTARIOS FORESTALES
2. DISPOSICIONES GENERALES
3. PLAN GLOBAL DEL CURSO INVENTARIOS FORESTALES
 - IDENTIFICACION
 - JUSTIFICACION
 - PROPOSITO
 - OBJETIVOS GENERALES
 - UNIDADES DIDACTICAS
 - EVALUACION (ACREDITACION)
 - CRONOGRAMA
 - BIBLIOGRAFIA
4. GUIA DE PRACTICOS
5. CRONOGRAMA DE AVANCE DE MATERIA
6. TEXTO BASICO DEL CURSO INVENTARIOS FORESTALES
 - UNIDAD 1: INTRODUCCION AL INVENTARIO FORESTAL
 - UNIDAD 2: MUESTREO FORESTAL
 - UNIDAD 3: MENSURACION DE RECURSOS
 - INVENTARIO FORESTAL DE PRODUCTOS MADERABLES Y NO MADERABLES
 - PARCELAS DE MUESTREO PERMANENTE
 - INVENTARIO DE FAUNA
 - INVENTARIO DEL CARBONO
 - UNIDAD 4: PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

INTRODUCCIÓN AL CURSO DE INVENTARIO FORESTAL

Desde tiempos muy antiguos, para el aprovechamiento de los Recursos Forestales se desarrollaban los Inventarios Forestales, sin embargo estos no obedecían a un marco técnico y sistémico para que los datos que se hubieran obtenido tengan una validez en la Planificación del Aprovechamiento Forestal.

Es lógico pensar que en nuestro medio también se realizaba el Inventario Forestal, pero la falencia estructural estaba en la sistematización, el análisis y el procesamiento de los datos y la información que nos brinda un Inventario de los RRNN.

Desde 1996, con la nueva legislación forestal en nuestro país se estructuró una normatividad que encierra las pautas y técnicas de Inventariación de los Recursos Forestales (Normas Técnicas) y se detallan claramente los lineamientos a través de los términos de referencia para la ejecución de Inventarios Forestales de Reconocimiento. Mediante esta norma y su cumplimiento se ha visto el Bosque de manera Integral y no solamente el recurso maderero, en esencia el Inventario Forestal se ha convertido en la primera e imprescindible fase de una Planificación acertada y Sostenible del Desarrollo Forestal.

El Curso de Inventario Forestal es un requisito indispensable de la Especialidad en Manejo Sostenible de Bosques Tropicales, es el segundo curso del segundo módulo que trata de las metodologías, la planificación y/o el diseño de los inventarios y la ejecución del mismo tomando en cuenta parámetros no solamente madereros sino también factores importantes como la fauna, los productos no maderables, el relieve geomorfológico, y otros parámetros en la mensuración, análisis, procesamiento y resultados de los recursos.

Su estructura tienen dos bases una que trata sobre la normatividad en el marco de la nueva Ley 1700 y la otra que es la parte técnica y metodológica para enfrentar la elaboración y formulación de Planes de Manejo Forestal en el país y en el resto del mundo.

El curso se justifica porque existen estándares definidos dentro de las regulaciones forestales que establecen normas mínimas de desempeño para los que manejan Bosques en Bolivia. Sin embargo, la aceptación de estos cambios hacia la sostenibilidad provocan aún resistencia en algunos sectores.

Para el desarrollo del curso, el material didáctico presentado (Documentos impreso, CD interactivo, guía de prácticos, etc), contiene información de actualidad y de vivencias reales en el entorno bosque, desarrollando las normas y las técnicas propias en la Inventariación del Recurso Bosque y su entorno.

El Plan Global, detalla las Unidades y/o Contenidos de las temáticas y la metodología de evaluación del curso. Así mismo el cronograma de avance de materias, ilustra un diario cronológico de acciones para los estudiantes en beneficio de la construcción de conocimientos, con base en el autoaprendizaje consciente y analítico de las temáticas que se abordan en el curso. Prosiguiendo, el texto de materias y prácticas a desarrollar obligatorias en su estudio permite a los posgraduantes evaluar las herramientas y desarrollar su utilidad en la aplicación hacia las Ciencias Forestales.

El curso se imparte en 160 horas, equivalentes a 4 créditos, en la modalidad semipresencial consta de dos partes principales: La primera que es de un autoaprendizaje en las tres primeras semanas de iniciado el curso, en este periodo la lectura analítica y reflexiva adicionado a la solución de problemas (prácticos de estudios de caso, ejercicios y resolución de cuestionarios), permitirá un aprendizaje continuo y autodidacta.

La segunda fase de la modalidad, permite al estudiantado reforzar todo lo aprendido en las tres semanas anteriores, mediante clases presénciales de hasta 9 horas en el bosque donde están los recursos para que de manera pragmática y desarrollando vivencia con el entorno realizar el levantamiento de datos para su posterior procesamiento analítico de la información obtenida.

Para estas prácticas, tanto el estado físico de los participantes como la utilización adecuada de los equipos, herramientas e instrumentos validará lo aprendido y consolidará aún más la necesidad del uso de estos instrumentos. La aplicación de paquetes informáticos especializados en el procesamiento de datos y la información nos encaminaran a la estructuración de los Planes Generales de Manejo Forestal. Instrumentos esenciales para conseguir una sustentabilidad del recurso en el tiempo.

La práctica a desarrollar en el Bosque Tropical hace necesario proveer tanto la indumentaria como una logística de acompañamiento adecuado en el bosque, el conocimiento adquirido a través de la lectura y la experiencia de los participantes coadyuvaran a que la práctica y el aprendizaje sea todo un éxito.

Gracias y buena suerte...

DISPOSICIONES GENERALES DEL CURSO DE INVENTARIO FORESTAL

A continuación se describen las disposiciones generales del Curso de Inventarios Forestales:

En el ámbito académico:

Los agentes en el proceso de la enseñanza - aprendizaje deberán responsabilizarse en el logro de los objetivos planteados tanto teóricos como prácticos de manera **autónoma**, siguiendo metodológicamente el cronograma de clases previsto para la ocasión. La comprensión de los materiales dispuestos para el curso en un proceso dinámico sostenido y sistémico por parte de los posgraduantes, necesitará constancia, dedicación, autonomía y responsabilidad por parte del alumno, proceso necesario para lograr el buen aprovechamiento de este curso.

El material didáctico documentos impresos, CD interactivo, guía de prácticos presentado por los responsables de la materia abarcan herramientas esenciales para el **autoaprendizaje** de los alumnos con la lectura y la solución de la prácticas elaboradas para reforzar su aprendizaje y en definitiva el alumno puede desenvolverse sin dificultad, en la Inventariación de los RR NN.

En todo el proceso, (semipresencial y presencial) se facilitará una consultoría abierta para todos los alumnos, como apoyo en el aprendizaje individual que permite la superación de los obstáculos. Así el interactuar será continuo y prevalecerán las iniciativas de los estudiantes para la comunicación con los docentes, respecto a cualquier consulta, duda, comentarios, sugerencias con referencia al desarrollo del curso. A este respecto estarán siempre disponibles los medios (fax, teléfono, casilla de correo corriente y electrónico y otros).

Programa de especialización: pembt@supernet.com.bo

Coordinador: Gustavo Guzmán gguzmán@umss.edu.bo
gquzmanumss@yahoo.es

Coordinador: Juan J. Leño jleano@umss.edu.bo
juanjleaos@yahoo.es

Coordinador: Angelo Lozano alozano@umss.edu.bo
angelo_m7@hotmail.com

En la dotación de materiales de estudio:

Los alumnos que estén oficialmente inscritos al presente curso, tendrán derecho a todos los materiales que son indispensables para adquirir conocimiento y a su vez deben cumplir con estudios individuales y analíticos en su lugar de origen, utilizando los textos y los otros materiales que se les proporcionará en el postgrado.

En la realización de las prácticas y ejercicios relacionados con la temática:

Las prácticas desarrolladas por los estudiantes, deberán entregarse en las fechas establecidas, las mismas se desarrollarán respondiendo a los cuestionarios que serán enviados oportunamente a cada uno de ellos cumpliendo el cronograma de avance de materia y siguiendo la guía de prácticas. La suma de todos los trabajos realizados y entregados se evaluarán y de esa forma funcionará el monitoreo individual del progreso en los ejercicios que tienen un valor de 45% de la nota final.

Los estudiantes que no cumplieron con las prácticas tendrán nota de reprobación, pero en caso de impedimentos justificados puede el estudiante, solicitar por escrito al Consejo de Coordinación Técnico Académica del Postgrado, analizará su caso para la atención necesaria. Esta solicitud, acción que puede realizarse a través del medio más conveniente o de manera personal.

El estudio individual y entrega de prácticas, acredita al estudiante poder acceder a las clases presenciales con los docentes responsables del curso, dichas clases son para la retroalimentación y el reforzamiento de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos por los estudiantes y la aplicación práctica de la temática sobre la inventariación de los recursos forestales y otros.

De la asistencia a la fase presencial:

El estudiante que cumplió con las tareas de la fase a distancia del curso, esta habilitado para asistir obligatoriamente a la fase presencial durante los cinco días y las horas planificadas para el cometido.

El alumno del posgrado, debe cumplir con la asistencia a las clases presenciales por dos razones. Estas sitúan al estudiante en disposición de demostrar el fruto del esfuerzo personal, y este conocimiento y/o habilidades poder ser evaluado. La puntualidad en las clases presenciales es fundamental para el buen funcionamiento y desenlace de las prácticas.

Tres días están planificados para el desarrollo operativo de los inventarios forestales (incluye el levantamiento de datos dasométricos maderables, no maderables, regeneración, fauna, carbono y características del terreno) que permitan en primera instancia el procesamiento adecuado de los datos e información colectada y la posterior elaboración de tablas volumétricas y características de terreno útiles para la elaboración del documento de los Planes Generales de Manejo Forestal. Un día esta destinado para realizar el procesamiento sistémico y analítico de la base de datos y el último día destinado a la evaluación del aprendizaje utilizando los sistemas informáticos para el cometido.

Para la realización de las prácticas en terreno se recomienda que los estudiantes vestan indumentaria adecuada para el mismo, considerando el clima, puesto que la misma se realizará en el bosque tropical, los materiales, instrumentos y equipo necesario para la realización del Inventario estará a cargo del Programa y el cuidado responsable estará a cargo de los estudiantes que hagan uso de las mismas.

Todo lo aprendido de manera teórica, estará demostrado en la práctica por parte de los estudiantes, para esto se organizará, planificará y realizará el Inventario en el Bosque Tropical.

Las evaluaciones en las clases presenciales tendrán un valor de 30% (teórico -prácticos), los cuales se lograrán mediante ejercicios de aplicación de las temáticas.

El examen final (16 de Marzo de 2003) tendrá una validez del 25% de la nota final y los resultados del total de evaluaciones se podrá verificar, de manera individual en la coordinación académica del posgrado o en sus correos electrónicos, cualquier observación que Ud. tenga podrá enviarnos por correo hasta 48 horas después de publicadas las notas a: las direcciones de los coordinadores.

Muchas gracias... Suerte

Cochabamba, Febrero 2003

**PLAN GLOBAL DEL CURSO
INVENTARIOS FORESTALES**

**ESPECIALIZACIÓN EN MANEJO SOSTENIBLE
DE BOSQUES TROPICALES**

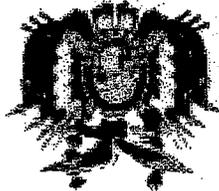
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
PROGRAMA DE POSTGRADO**

**ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE MADERAS TROPICALES
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**



OMIT

MINISTERIO DE BIEN AMBIENTE
NATURALES Y DIRECCIÓN FORESTAL



1. IDENTIFICACIÓN DEL CURSO

Nombre del curso	: Inventarios Forestales
Código	: PMF – 022
Carrera	: Escuela de Ciencias Forestales
Programa	: Postgrado en Manejo Sostenible de Bosques Tropicales de Bolivia
Modulo	: Planificación del Manejo Forestal
Carga Horaria	: 40 horas semanales donde se requerirá la participación del participante de manera individual y autónoma para cada tema.
Horas Teóricas: 120	: Nro de créditos: 3 Semipresencial
Horas Practicas: 40	: Nro de Créditos: 1 Presencial
Total horas: 160	: Nro de Créditos: 4
Horario	: Lunes a domingo según la disponibilidad de tiempo que tenga el postgraduante en la modalidad semipresencial y fechas, tiempo a definir en el caso presencial.
Aula para las practicas	: Gabinete SIG y Valle del Sacta
Lugar de consulta	: Postgrado de Especialización de Manejo de Bosque Tropical. Tel/Fax 4293715 – 4246956. Casilla 447. Mail: pembt@supernet.com.bo http:// www.postgradoesfor.umss.edu.bo/
Fecha de presentación	: Febrero 2003

2. JUSTIFICACIÓN

Para elaborar un Plan general de Manejo Forestal; documento de gestión indispensable para obtener la autorización en el aprovechamiento de los recursos forestales, procesamiento, análisis y obtención de resultados razón por la cual es indispensable contar con la información adecuada y confiable estadísticamente a través de la recolección de información de campo mediante el inventario forestal.

La recolección y registro de información cualitativa y cuantitativa de los bosques tropicales depende de fundamentalmente del proceso de inventario, aplicación de métodos adecuados de muestreo como también de la disponibilidad de recursos económicos y humanos; además del tiempo adecuado para su ejecución.

La información recopilada en campo a través del Inventario Forestal es de vital importancia ya que las decisiones acerca del manejo del bosque se toman en función de la misma.

La modalidad del curso semipresencial hace que tanto docentes y estudiantes estén en contacto a través de los medios de comunicación: Correo, Fax, Teléfono y vía Internet a través del correo electrónico y un material preparado que se impartirá a los alumnos.

3. PROPOSITO

El avance de la deforestación a pasos gigantescos por la ampliación de la frontera agrícola, caminos, ganadería, actividades petroleras y el mal uso de los recursos maderables de nuestros bosques, hace necesario elaborar propuestas de Manejo Forestal sostenible que estén sustentadas por información cualitativa y cuantitativa proveniente de los Inventarios Forestales, que nos darán elementos técnicos para planificar el manejo de esos recursos naturales.

Los cursos impartidos por el postgrado vienen a reforzar los conocimientos, metodologías teórico / práctico de los inventarios forestales que nos permitirán planificar de una manera sostenible el uso del recurso maderable de nuestros bosques.

4. OBJETIVO

El objetivo es que los estudiantes de la especialidad en Manejo de Bosques Tropicales adquieran destrezas, conocimientos y habilidades para la planificación, ejecución y presentación de la información obtenida.

Los alumnos del curso de especialización de bosques tropicales serán capaces de:

- ⇒ Diseñar un muestreo forestal con los criterios establecidos para un inventario de recursos maderables y no maderables.
- ⇒ Planificar y ejecutar un inventario forestal de reconocimiento.
- ⇒ Procesamiento y depuración de la información de campo.
- ⇒ Creación de tablas e introducción a base de datos.
- ⇒ Procesar y analizar la información de un inventario forestal.
- ⇒ Cuantificar la cantidad de dióxido de carbono que es absorbido por los diferentes estratos en un bosque tropical.
- ⇒ Evaluar el efecto fauna silvestre en la dinámica de los bosques tropicales.
- ⇒ Elaborar un Plan general de Manejo Forestal según normas técnicas.
- Utilizar los sensores remotos y material cartográfico para la estratificación adecuada de bosques tropicales y su posterior verificación de campo.

5. UNIDADES DIDACTICAS

Los contenidos elaborados se distribuyeron organizadamente en unidades en función a un curso mensual estructurado en una modalidad semipresencial y otro presencial de cinco días, los resultados a obtener es que el estudiante dedique 40 horas semana de trabajo y estudio, independiente del sistema semipresencial.

Enunciado de las unidades:

Unidad 1: Introducción al Inventario Forestal.
Unidad 2: Muestreo Forestal.

Unidad 3:	Mensuración de recursos: Inventario forestal de productos maderables / No maderables. Parcelas de Muestreo Permanente Inventario de Fauna Inventario del Carbono.
Unidad 4:	Procesamiento y Análisis de Datos.

UNIDAD 1

INTRODUCCION AL INVENTARIO FORESTAL

a) Objetivos de la unidad

El objetivo de esta unidad estará cumplido cuando los alumnos sean capaces de:

- Comprender los fundamentos básicos del inventario forestal, conceptos teórico práctico.
- Planificar el aprovechamiento de los bosques tropicales a partir del conocimiento, análisis e interpretación de fotografías, imágenes satelitales y elaboración de mapas de vegetación.

b) Contenidos

b.1 INTRODUCCION Y PLANIFICACION DEL INVENTARIO FORESTAL

- ☞ Definición de inventario Forestal. Objetivos.
- ☞ Clasificación de inventarios
- ☞ Tipos de inventarios
- ☞ Planificación del inventario forestal
- ☞ Técnicas de percepción remota: Herramientas básicas para su aplicación en Inventario de recursos forestales.

b.2 FOTOGRAFIAS AEREAS, IMAGEN SATELITAL COMO HERRAMIENTA PARA EL MAPEO Y ESTRATIFICACION DE LA VEGETACION

- ☞ El mapeo forestal.
- ☞ Concepto de estratificación
- ☞ Utilización de sensores remotos. Elementos a tomarse en cuenta en el proceso de estratificación
- ☞ Estratificación de los bosques tropicales. Estratificación vertical y horizontal.

c) Metodología

La modalidad semipresencial aplicada en el segundo ciclo es la base principal de enseñanza y aprendizaje de los alumnos del programa de especialización en el Manejo de Bosques Tropicales.

La comunicación docente, coordinadores y alumnos deberá ser fluida y enriquecida por el interés personal de estudiante a cumplir con calendario y cronogramas de las actividades académicas, contenidos analíticos y su posterior aprobación.

Para apoyar al alumno en sus investigaciones se les proporcionara materiales en formato: impreso y digital y demás materiales interactivos y otros.

UNIDAD 2

MUESTREO FORESTAL

a) Objetivo de la unidad

El objetivo de esta unidad es de aportar elementos técnico – científico a los alumnos y los mismos al terminar el curso sean capaces de:

- Planificar y diseñar el levantamiento de información de campo con la aplicación de diferentes técnicas de muestreo y nivel de detalle.

b) Contenidos

b.1 CONCEPTUALIZACION Y APLICACIÓN DE TECNICAS DE MUESTREO

- ☞ Conceptos de muestreo. Criterios técnicos para el diseño de muestreo
- ☞ Tipos de muestreo. Muestreo sistemático
- ☞ Variabilidad y tamaño de la muestra. Parcelas cero y parcelas no levantadas
- ☞ Intensidad de muestreo para masa actual, potencial y regeneración.

c) Metodología

La participación del alumno en esta unidad deberá contar con lo mínimo en el conocimiento teórico y conceptual de los diferentes temas de la unidad; requisito indispensable para la aplicación de la modalidad semipresencial.

La interacción continua entre docente-estudiante servirá para apoyar al alumno en sus investigaciones practicando sus habilidades y nuevos conocimientos a través de la provisión de materiales y las estrategias de aprendizaje: material de estudio impreso y formato digital (CD interactivo) y demás materiales, etc.

UNIDAD 3

MENSURACION DE RECURSOS

a) Objetivo de la unidad

El objetivo de esta unidad estará satisfecho cuando los alumnos al finalizar la misma sean capaces de:

- Diseñar, planificar y recolectar información de campo que nos permitirá definir el uso de los recursos naturales en función de sus cualidades.

- Analizar las variables cualitativas y cuantitativas y a través de ellas conocer la dinámica y comportamiento del bosque tropical y recomendar el manejo del mismo.
- Aplicar metodologías en el reelevamiento de la fauna silvestre en áreas de aprovechamiento forestal.

b) Contenidos

b.1 INVENTARIO FORESTAL DE PRODUCTOS MADERABLES / NO MADERABLES.

- ☞ Ejecución del inventario.
- ☞ Ubicación de las líneas de inventario. Apertura de picas. Levantamiento de información.
- ☞ Elaboración de tablas del Inventario Forestal y manejo de formularios de campo.

b.2 INVENTARIO DE FAUNA

- ☞ Metodología. Estrategias de conservación. El rol de la fauna en la dinámica de los bosques. Procesos ecológicos. Implicancias para el Manejo Forestal.
- ☞ Características más importantes de los grupos de animales silvestres en nuestros bosques tropicales. Categorización de la fauna silvestre.
- ☞ Cumplimiento de los aspectos legales sobre la fauna silvestre. La conservación de la fauna silvestre en áreas de Manejo Forestal. La conservación de la biodiversidad y el desarrollo maderero.

b.3 INVENTARIO DEL CARBONO

- ☞ Introducción a los inventarios del carbono. El efecto del invernadero y cambio climático. Sistemas de uso de la tierra como una opción de mitigación del cambio climático.
- ☞ Árboles muertos en pie y troncos caídos. Hojarasca. Carbono en el suelo. Cálculo estadístico para determinar número de parcelas. Número de parcelas. Error de estimación.

b.4 PARCELAS DE MUESTREO PERMANENTE

- ☞ Inventario de la regeneración natural del bosque tropical.
- ☞ Introducción. Instalación de parcelas.
- ☞ Cálculo de la abundancia y ocupación. Toma de datos. Cálculos. Relación NA/Ha Vs DAP.
- ☞ Aspectos dinámicos del bosque.
- ☞ Cálculos de crecimiento diametral y tiempo de pasaje.

c) Metodología

La metodología de enseñanza y aprendizaje se basa principalmente en la autoformación del alumno en el sistema semipresencial.

El desarrollo de la unidad es en base a una interacción continua entre los alumnos y docentes del programa, generando discusiones de las diferentes problemáticas relacionadas a los inventarios forestales.

El programa a través de los docentes, coordinadores, apoyará al alumno en sus investigaciones, orientando y reforzando sus conocimientos, también proveerá una gama de materiales y estrategias de aprendizajes: materiales de estudio en formato de papel y digital.

UNIDAD 4

PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

a) Objetivo de la unidad

El objetivo de esta unidad estará satisfecho cuando los alumnos al finalizar la misma sean capaces de:

- Manejo de paquetes computarizados que les ayuden a procesar, interpretar y analizar datos de un inventario forestal.
- Presentación de resultados adecuados a formatos de presentación requeridos por la superintendencia forestal de acuerdo a normas técnicas en vigencia.

b) Contenidos

b.1 PROCESAMIENTO E INTRODUCCION DE DATOS

- ☞ Manejo de datos del Inventario Forestal. Importancia del uso de programas de Manejo de Bases de Datos software de BOLFOR y por la Súper Intendencia Forestal el Proc_Inv.
- ☞ Programa de procesamiento y análisis de inventario forestales. Proyecto nuevo. Modificaciones. Listados. Eliminar proyectos. Inventario de individuos con $DAP \geq 10$ cm. Introducción de datos. Modificación y eliminación de datos. Listados de datos.
- ☞ Eliminar grupos de datos. Reemplazar grupos de datos. Elegir archivo de especies. Introducción y modificación de especies. Listados. Eliminar archivo de especies.

b.2 ANALISIS ESTADISTICO

- ☞ Estadística descriptiva. Clases diamétricas general y clasificado. Clases de altura general y clasificado. Volumen potencial, actual y total. Crecimiento de volumen actual (TUNEL).
- ☞ Entrada de datos. Igual intensidad de muestreo para potenciales y actuales. Resultados por estratos.

b.3 PRESENTACION DE RESULTADOS

- ☞ Procesamiento de datos. Presentación de información de campo. Tabla 1 Existencias del bosque. Tabla 2 Volúmenes potencial actual y total con calidad. Tabla 3 Árboles aprovechables.
- ☞ Estructura y composición del bosque. Análisis de inventario y diámetros mínimos de corta. Elaboración del documento según normas técnicas.

b.4 ESTUDIOS DE CASOS

- ☞ Programa incorporado a proyectos. Estudios de casos. Ejemplos tipo básicos.

c) Metodología

La interacción continua entre docente-estudiante servirá para apoyar al alumno en sus investigaciones practicando sus habilidades y reforzando conocimientos a través de la lectura y realización de prácticas incluidas en los materiales como parte de una estrategia de aprendizaje: material de estudio en formato digital, papel y material interactivo para desarrollar los temas.

La elaboración de guías prácticas, estará orientada y referida a temas de importancia presente en la unidad.

La solución de los diferentes problemas de la temática implantada será absuelta por parte de los docentes tutores o responsables del tema.

6. EVALUACION (ACREDITACION)

La evaluación que debe hacer el docente será continua. Deberán tomarse en cuenta, comprobaciones de lectura, realización de prácticos, participación en aula y en las practicas, además de las evaluaciones teóricas y practicas cuando corresponda. La calificación debe considerar la siguiente estructura:

1.	Trabajos individuales y desarrollo de las guías	45%
2.	Evaluaciones teóricas	15%
3.	Evaluaciones practicas	15%
4.	Evaluaciones finales del curso	25%

	Total de evaluaciones durante cada curso	100%

Mayores detalles están contemplados en el reglamento del postgrado.

7. CRONOGRAMA

Se propone el siguiente cronograma de actividades:

UNIDAD	TITULO	SEMANA	HORAS	FECHAS	RESPONSABLE
1	Introducción al inventario forestal	1ra	32	18 al 21 de febrero	Ing. José Ledezma, Dra. Marielos Peña e Ing. Angelo Lozano
2	Muestreo forestal	2da	16	21 al 24 de febrero	
3	Mensuración de recursos	3ra	32	25 al 28 de febrero	
4	Procesamiento y análisis De datos	4ta	40	5 al 7 y 14 al 15 de marzo	
No pres.	Practicas con computadoras en gabinete temáticas de inventarios Forestales.	2da y 3ra	48	Del 21 al 28 de febrero	
Pres.	Practicas en Sacta y Gabinete: recolección, evaluación y análisis de resultados de un inventario forestal	4ta	32	Del 12 al 15 de Marzo	

Ver cronograma de avance de materia

BIBLIOGRAFIA

Bastienne S., Ganoso J., Guerra J. 2001., Manual de Procedimientos para Inventarios de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia – Chile.

Bolfor, M.D.S.M.A. 1997. Normas Técnicas para la elaboración de instrumentos de Manejo Forestal (Inventarios, planes de manejo, planes operativos, mapas en propiedades privadas o concesiones con superficies mayores a 200 has.) Resolución Ministerial 248/98. 77 Pág.

- Bolfor, M.D.S.M.A., 1995.** Guía Práctica y Teórica para el Diseño de un Inventario Forestal de Reconocimiento.
- Bolfor, M.D.S.M.A., 1997.** Nueva Ley Forestal (Nº 1700, del 12 de julio de 1996). Reglamento de la nueva Ley Forestal (D.S. Nº 24453, del 21 de Diciembre de 1996). Santa Cruz-Bolivia, 136 Pág.
- Bolfor,** Monitoreo de Parcelas Permanentes de Medición en el Bosque de Chimanes. Documento técnico 67/98. Santa Cruz – Bolivia.
- Bolfor,** Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs). Santa Cruz – Bolivia. 50 Pág.
- Bolfor,** Informe Final de Consultoría sobre Términos de Referencia para la Ejecución de Inventarios Forestales de Reconocimiento y Elaboración del Plan General de Manejo y Planes Operativos Específicos. Documento Técnico 24/1995.
- Carrillo E. Guillermo.,** Apuntes del Curso de Inventarios Forestales; Serie de Apoyo Académico Nro 35. División de Ciencias Forestales; Universidad de Chapingo – México. 206 Pág.
- Daubert E., Terán J., Guzmán R.,** Estimaciones de Biomasa y Carbono en Bosques Naturales de Bolivia. 32 Pag.
- Fundacion Solar, 2000.,** Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo. Guatemala-Centro America.
- González Cueva G.,** Evaluación del Tamaño y Forma de Sitio de Muestreo para Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Jalisco - México. 5 Pág.
- Herrera José C.** Evaluación de la Fauna Silvestre en las Concesiones Forestales San Miguel y Lago Rey. Documento Técnico 98/2001.
- Husch B.** Planeamientos de Inventarios Forestales. 17 Pág.
- Husch Bertram., 2001.,** Estimación del Contenido de Carbono de los Bosques. Infora – Chile.
- Malleux Orjeda J., 1982** Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Lima – Perú, 416 Pág.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1995.** Memoria explicativa del Mapa Forestal de Bolivia. La Paz-Bolivia. 43 Pág.
- Morales B. de Morales, 1990.,** Bolivia – Medio Ambiente y Ecología aplicada; Instituto de Ecología UMSA. La Paz Bolivia. 316 Pág.
- Padt-Refort. JUNAC, 1981.** Aplicación de los sensores remotos en la clasificación y levantamiento de los bosques húmedos tropicales. Bogotá-Colombia.

Pineda P. Marmillot D. Ferreira P. Diseño y Aplicación de un Inventario Forestal Diversificado (Productos maderables y No Maderables) en Peten, Guatemala.

Santibáñez José L., 1999. Vida Silvestre. Programa manejo de bosques de la amazonia (PROMAB). Santa Cruz-Bolivia. 17 Pág.

Swedforest International AB, M.D.S.M.A., Guía practica de Inventario Forestal; Informe Técnico Nro 3. La Paz-Bolivia 30 Pág.

Zonisig, 1998. Inventario y Clasificación Topológica de Bosques en las Provincias Gran Chaco y O'connor del Departamento de Tarija.

GUIA DE PRACTICOS

PRACTICO N° 1

Revisión de la Norma técnica 248/98 respecto a lo concerniente a los Terminos de referencia para la ejecución de Inventarios Forestales de reconocimiento. Deberá enviar comentarios. (pregunta de examen). Enviar en la ficha para practicas.

PRACTICO N° 2

Se desea efectuar un inventario en una propiedad privada de 100 has. De la especie Ochoo ubicada en el Chapare, cuyo objetivo es el de estimar el volumen medio por hectárea, de aquellos árboles cuyo diámetro mínimo sea mayor a 40 centímetros. Se utilizaran sitios cuadrados de 0.1 hectáreas, los cuales se dibujarán sobre un mapa del área objeto de estudio y se controlaran con números del 1 al 1000 y de una tabla de números aleatorios se seleccionaran 25 para identificar a las unidades que habrán de incluirse en la premuestra. Los vol. obtenidos en m^3 son: 48, 46, 50, 48, 47, 46, 46, 48, 46, 45, 48, 52, 43, 49, 48, 46, 45, 45, 46, 48, 47, 47, 45, 48 y 45. Hallar la: Media Aritmética, La Varianza, Desviación standard, Coeficiente de variación, Error estándar y error standard en %, Limites de confianza y Limites de confianza en %, Error admisible y error admisible en %, Estimación del tamaño de la muestra.

PRACTICO N° 3

Realizar el diseño de muestreo para un inventario forestal de reconocimiento de las propiedades de la Empresa Industrial Maderera Amazonic Sustainable Enterprises contando con la siguiente información Superficie, indicar la intensidad de muestreo, tamaño de las unidades de muestreo, distancia de líneas de levantamiento (picas) y distancia entre centro de unidades de muestreo. Ver Guia.

PRACTICO N° 4

De los resultados del inventario como distribución diamétrica (número de árboles versus clase de diámetro por grupo comercial y por especie, realizar sus correspondientes gráficas y analizar esos resultados. Datos1, Datos2

PRACTICA N° 5

Indique las características y consideraciones más importantes para la instalación y evaluación de las parcelas permanentes de muestreo. Enviar en Ficha de practicos

PRACTICA N° 6

Indique la importancia del inventario del carbono y de la Fauna. Enviar en ficha de practicos.

La entrega de estos prácticos debe realizarse de acuerdo al cronograma de avance de materia.

**CRONOGRAMA DE AVANCE DE MATERIA
CURSO: INVENTARIO FORESTAL**

CLASE Y FECHAS	ACTIVIDAD / CONTENIDOS	MEDIO DIDACTICO	DURACIÓN (Hrs)	TRABAJO	TIPO DE CLASE	FECHA DE ENTREGA DE TRABAJOS Y MATERIAL
0 Presencial 17/02/ 2003	Presentación, introducción, entrega del material para el curso de Inventario Forestal	- Texto, documentos y plan para estudiantes - CD interactivo	4	Coordinador / alumnos	Exposición - Participativo	Entrega o envío de material de estudio a los participantes
1ª - 2ª clase No presencial 18 - 19 /02	Unidad I b.1. Formaciones vegetales de Bolivia. Sistema de clasificación, Taxonomía y nomenclatura. Herbarios. b.2. Inventario Forestal. Objetivos. Clasificación y Tipos. Planificación. Técnicas de percepción remota: Herramientas para su aplicación en Inventario.	- Texto alumno - CD interactivo	8 8	- Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y resolución de prácticas	
3ª - 4ª clase No presencial 20- 21/02	Unidad I b.3. El mapeo forestal. Concepto estratificación. Utilización de sensores remotos. Estratificación de los bosques tropicales. Estratificación vertical y horizontal.	- Texto alumno - CD interactivo	16	- Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y prácticas	19 de Febrero: Control de lectura por medio de fichas: Revisión de Norma Técnica 248/98 respecto de los terminos de referencia para la ejecución de Inventarios Forestales

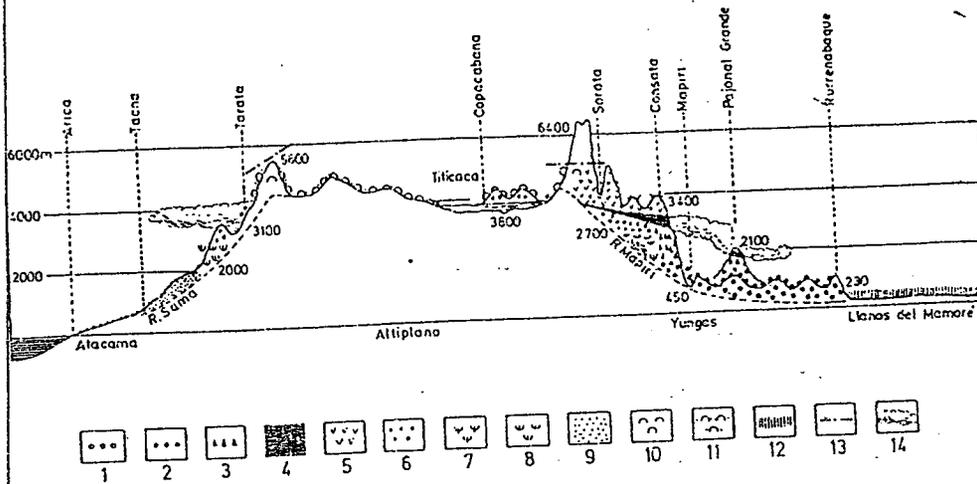
CLASE Y FECHAS	ACTIVIDAD/ CONTENIDOS	MEDIO DIDACTICO	DURACIÓN	TRABAJO	TIPO DE CLASE	FECHA DE ENTREGA DE TRABAJOS
5ª 6ª Clase No presencial 21-24/02	Unidad II b.1. Muestreo. Criterios técnicos para el diseño. Tipos. Variabilidad y tamaño de muestra. parcelas cero y parcelas no levantadas. Intensidad.	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	16	Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y entrega de fichas	21 de Febrero Informe de desarrollo de ejercicios Parámetros estadísticos de Un Inventario Forestal
7ª- 8ª clase No presencial 25- 26/02	Unidad III b.1. Inventario forestal de productos maderables y no maderables: Ubicación de las líneas de inventario. Apertura de picas. Levantamiento de datos. b.2. Inventario de Fauna: Metodología. El rol de la fauna en la dinámica de los bosques. Implicancias para el Manejo Forestal.	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	8 8	Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y prácticas	24 de Febrero Informe de desarrollo de ejercicios. Diseño y distribución de Muestreo
9-10ª Clase No presencial 27 - 28 /02	Unidad III b.3. Inventario del Carbono: Calculo estadístico. Numero de parcelas. Error estimación. b.4. Parcelas de muestreo permanentes: Calculo de la abundancia. Toma de datos. Relación NA/Ha Vs DAP.	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	8 8	Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y prácticas	28 de Febrero Informe de desarrollo de ejercicios. Análisis del Inventario y el Diámetro Mínimo de Corta

CLASE Y FECHAS	ACTIVIDAD / CONTENIDOS	MEDIO DIDACTICO	DURACIÓN	TRABAJO	TIPO DE CLASE	FECHA DE ENTREGA DE TRABAJOS
11ª Clase No presencial 05/03	Unidad IV b.1 Manejo de datos del Inventario. Uso de programas de Bases de Datos software de BOLFOR, SIF el Proc-inv.	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	8	Alumnos / Docente	Estudio individual con lectura y prácticas	
12ª Clase No Presencial 06/03	Unidad IV b.2. Estadística descriptiva. Clases diamétricas, de altura general y clasificado. Volumen potencial, actual y total. Crecimiento de volumen actual (TUNEL)..	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	8	Alumnos / Docente	Método de casos	
13ª Clase No Presencial 07 /03	Unidad IV b.3. Presentación de la información. Tablas: Existencias del bosque, Volúmenes potencial actual y total con calidad. Árboles aprovechables. Estructura y composición del bosque. Elaboración del documento según normas.	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	8	Alumnos/ Docente		07 de marzo Control de lectura por medio de fichas: Consideraciones y características para la instalación y evaluación de las parcelas permanentes de muestreo.
14-15ª clase No Presencial 10-11 /03	b.4. Programa incorporado a proyectos. Estudios de casos. Ejemplos tipo básicos	- Texto alumno - CD interactivo - Guía de prácticas	16	Alumnos/ Docente	Método de aprendizaje basado en problemas	11 de marzo Control de lectura por medio de fichas: Importancia y características del Inventario de Carbono y fauna

CLASE Y FECHAS	ACTIVIDAD / CONTENIDOS	MEDIO DIDACTICO	DURACIÓN	TRABAJO	TIPO DE CLASE	FECHA DE ENTREGA DE TRABAJOS
16 ^a Clase Presencial 12 /03	Unidades I al III - Organización y Planificación del Inventario - Determinación de Intensidades de muestreo. - Ejecución del Inventario	- Guía de prácticas - Formularios	8	Docente /Alumno	Participativa y Práctica con levantamiento de datos e información	Trabajo de Refuerzo del conocimiento
17 ^a Clase Presencial 13 /03	Unidades I al III - Ejecución del Inventario - Levantamiento de datos e información (dendrología, fauna, no maderables y C)	- Guía de prácticas - Formularios	8	Docente/Alumno	Participativa y práctica con levantamiento de datos e información	Trabajo de refuerzo del conocimiento
18 ^a Clase Presencial 14/03	Unidades I al III - Ejecución del Inventario - Levantamiento de datos e información (dendrología, fauna, no maderables y C)	- Guía de prácticas - Formularios	8	Docente /Alumno	Participativo con levantamiento de datos e información	Trabajo de refuerzo del conocimiento
19 ^a Clase Presencial 15/03	UnidadIV - Procesamiento de datos Introducción, modificación y depuración de datos. Análisis de datos Salida de Información y documento s/ normas	- Data display - Guía de prácticas - Computadora - Paquetes informáticos	8	Docente / Alumno	Método de aprendizaje basado en problemas	Trabajo de refuerzo del conocimiento
20 ^a Clase Presencial 16/03	Unidades I al IV - Evaluación final del curso Inventario forestal - Presentación del curso: Censo Forestal y POAF	- Pizarra - Computadora - Hojas de Evaluación	4 2	Docente / Alumnos	Evaluación sumativa	Evaluación final Entrega y/o envío de material de estudios a los participantes

UNIDAD 1

INTRODUCCION AL INVENTARIO FORESTAL



Perfil de la vegetación a lo ancho de la cadena andina, según Troll. Fuente: Fittkau et al., 1968.

1. Selva semi-siempre verde de tierras bajas
2. Selva tropical de tierras bajas
3. Selva tropical de pie de monte
4. Bosque tropical de alta montaña (bosque de neblina)
5. Comunidades alpinas húmedas (páramos)
6. Matorrales siempre verdes y bosques de Polylepis
7. Bosques espinosos y suculentos
8. Matorrales espinosos y suculentos
9. Desierto
10. Puna húmeda con pastos
11. Puna seca espinosa
12. Sabana húmeda de tierras bajas
13. Línea de nieve
14. Nubes persistentes

2. Vegetación y regiones naturales de Bolivia.

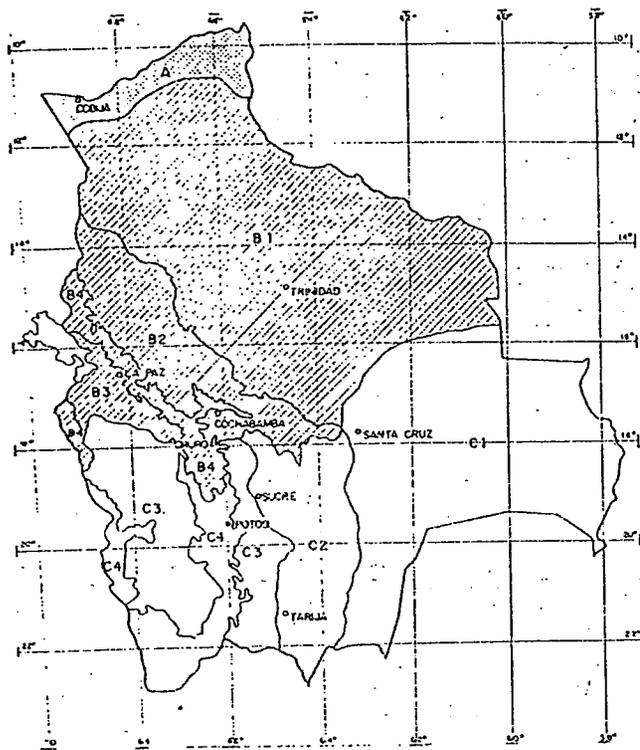
Bolivia cuenta con una flora de 15.000 a 20.000 especies de plantas superiores, de las cuales la mayoría crece en la cuenca amazónica. Alrededor de 10.000 especies fueron compiladas por Foster (1958) y corresponden a material de herbarios norte-americanos y europeos. Iniciada en 1979 en el Instituto de Ecología, la colección que forma actualmente el Herbario Nacional de Bolivia cuenta con más de 45.000 especímenes que representan alrededor de 7.000 especies de plantas (Beck, com. pers.).

Han existido varios intentos para describir la vegetación o el conjunto de las plantas de las regiones ecológicas de Bolivia (Beck, 1988). Los principales trabajos de preparación de mapas y descripción general de la vegetación son, en orden cronológico, de Arce Pereira (1963), Montes de Oca y Brockmann (1971), Hueck y Seibert (1972), Tosi *et al.* (1975), Unzueta (1975), el programa ERTS-GEOBOL (1978), Ellenberg (1981) y Lara (1985).

En el perfil de vegetación de la página opuesta se puede apreciar la influencia de la masa montañosa de los Andes sobre la distribución de los grandes tipos de vegetación, de acuerdo a su efecto sobre el clima (ver capítulo II.4). La gran diversidad de habitats así creada ha determinado controversias entre los botánicos, que han adoptado diversos sistemas de nomenclatura, a pesar de reconocer las mismas regiones generales.

Por ejemplo, Ellenberg divide el país en doce regiones ecológicas, que resultan de la superposición de características de relieve, clima y vegetación (Ellenberg, 1981; descritas en Beck, 1988). La clasificación de estas regiones desde un extremo húmedo hasta un extremo árido corresponde a los climadiagramas de la figura que aparece en la página siguiente. Troll reconoce asimismo doce tipos de vegetación a lo largo de una transecta que va desde el Océano Pacífico (el desierto de Atacama) hasta los llanos orientales del Mamoré y que coinciden en parte con las ecoregiones de Ellenberg (ver p 114).

Otros autores como Tosi *et al.* (1975) y Unzueta (1975) dividen el país en tres regiones latitudinales (tropical, subtropical y templada) y 48 zonas de vida, definidas por la biotemperatura y la precipitación anual, según el sistema de Holdridge (1979). Sin embargo, la poca confiabilidad o la ausencia de datos climáticos en algunas regiones del país y la influencia de factores no climáticos, como los tipos de suelo y la intervención humana, hacen que los límites y las descripciones de estas zonas de vida no siempre coinciden con las observaciones en el terreno.



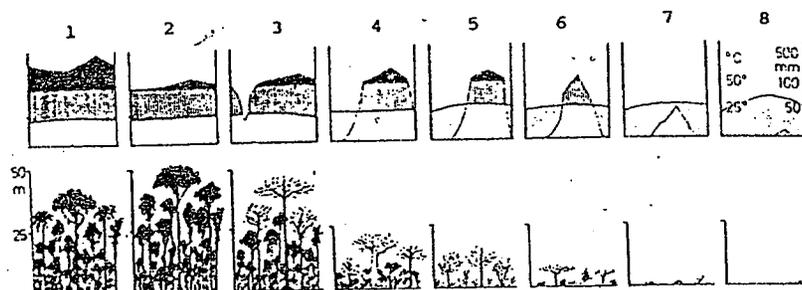
REFERENCIAS

- A. Región tropical
 B. Región subtropical de tierras bajas
 B1. Región subtropical de tierras bajas
 B2. Región subtropical de tierras altas
 B3. Región subtropical de tierras altas
 B4. Región subtropical andina
 C. Región templada
 C1. Región templada de tierras bajas
 C2. Región templada de tierras altas
 C3. Región templada de tierras altas
 C4. Región templada andina

REGIONES CLIMÁTICAS

- [Patrón de líneas] Región húmeda
 [Patrón de líneas] Región subhúmeda
 [Patrón de líneas] Región semihúmeda

 MAPA ECOLÓGICO
 GENERALIZADO
 DE
 BOLIVIA

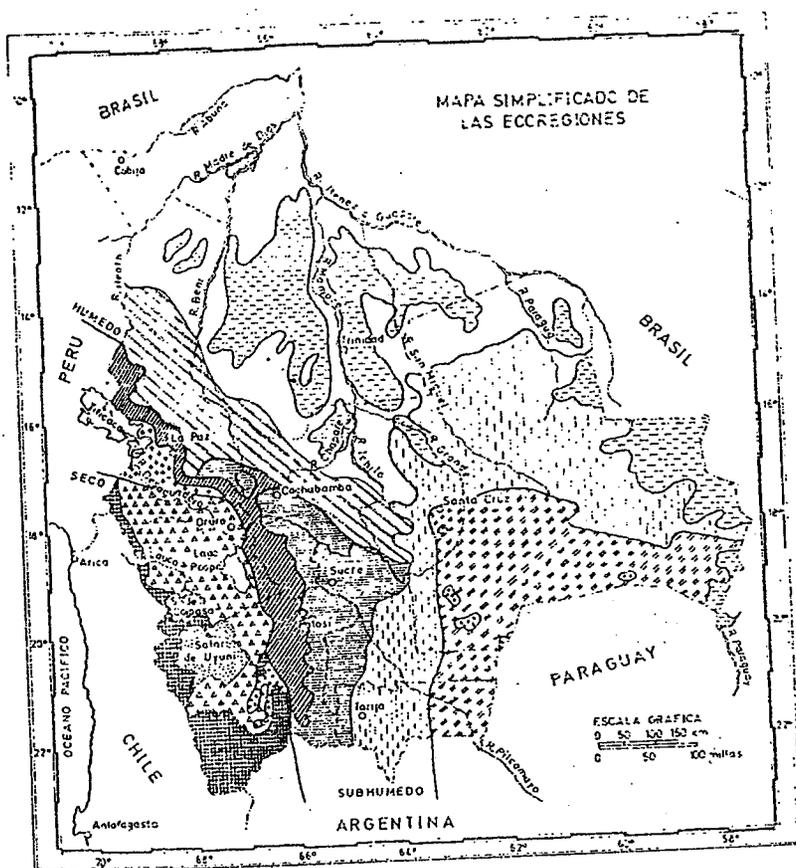
 0 50 100 200 300 Km
 Según O. Uzárriz


Variación de la vegetación de acuerdo a las condiciones climáticas.

1. perhúmedo: bosque tropical siempre verde, mesomorfo.
 2. euhúmedo: bosque tropical siempre verde, ligeramente xeromorfo.
 3. sub-húmedo: bosque tropical siempre verde, estacional.
 4. semihúmedo: bosque tropical semi-siempre verde.
 5. semiárido: bosque tropical pluvióverde.
 6. subárido: bosque tropical xeromorfo.
 7. euárido: matorral semidesértico tropical.
 8. perárido: desierto tropical.
- Fuente: Ellenberg, 1975, redibujado.

En el trabajo sobre diversidad biológica, editado por el Centro de Datos para la Conservación (1988), se realiza una división del país en regiones naturales generalizadas, que concuerdan con las principales regiones fisiográficas. La coincidencia entre estas regiones y las que se han utilizado en las publicaciones mencionadas arriba, se discute ampliamente en el trabajo de diagnóstico de la diversidad biológica de Bolivia, en base a apreciaciones de Arce, Lara, Beck y Goitia (CDC *et al.*, 1988). En el presente trabajo, trataremos de hacer coincidir la clasificación en regiones naturales aceptada por estos especialistas, con la descripción de las ecoregiones de Ellenberg (1981), realizada por Beck (1988). Las descripciones de las zonas de vegetación que aparecen en las siguientes páginas son tomadas de este autor (Beck, 1984, 1985, 1988).

Con fines de simplificación de las descripciones se usará la siguiente clasificación, basada en aspectos fisiográficos como la altura sobre el nivel del mar, que condiciona a su vez la temperatura, y condiciones de clima, particularmente el número de meses secos y lluviosos:



Fuente: Ellenberg, 1971, redibujado.

REGION NATURAL

ECOREGION SEGUN ELLENBERG

1. Región altoandina (Cordilleras andinas). Comprende:

Zona altoandina seca	12	Piso altoandino semiárido y árido, sin cultivos.
Zona altoandina semihúmeda	11	Piso altoandino semihúmedo, sin cultivos.

2. Región de la puna (Altiplano). Comprende:

Puna seca	9	Puna semiárida y árida
Puna semihúmeda	8	Puna semihúmeda, con árboles.
Salares	10	Salar
Dunas del Altiplano	6	Terrazo de dunas en n°9

3. Región de los Yungas (Yungas y Chapare). Comprende:

Ceja de montaña	1	Selva húmeda montañosa
Bosques de Yungas y Chapare	1	Selva húmeda montañosa

4. Región de serranías y valles interandinos.

Valles secos o mesotérmicos	7	Valles y montañas semiáridas a semihúmedas.
-----------------------------	---	---

5. Región de la faja subandina. Comprende:

Bosques subandinos húmedos	1	Selva húmeda montañosa
Bosques subandinos semihúmedos	4	Bosque semihúmedo bajo y montañoso.

6. Región de la llanura beniana y pandina. Comprende:

Selva subhúmeda	2	Selva subhúmeda baja con unos meses más secos
Sabanas	3	Sabana inundada 5-7 meses (o más), con islas de bosque en parte siempre verdes.

7. Región de la llanura sudoriental. Comprende:

Monte semihúmedo (Chiquitania, provincia Velasco)	4	Bosque semihúmedo bajo y con unos meses más secos
Monte semiárido del Chaco	5	Monte semiárido bajo.
Dunas y arenales del Oriente	6	Terrazo de dunas en n°5.

2.1. La región altoandina.

Esta región ecológica, que se sitúa por encima de 4400 metros de altura comprende también los pisos nival (más de 5300 m) y subnival (5000 - 5300 m). Ellenberg diferencia en esta zona una ecoregión altoandina semiárida y árida y una ecoregión altoandina semihúmeda.

La zona altoandina seca pertenece en su mayor parte a la Cordillera Occidental. El frío aumenta considerablemente de norte al sur, al igual que la aridez. En la zona más seca se producen precipitaciones solamente durante un mes cada año, o a veces ninguno. La capa vegetal refleja las condiciones climáticas áridas y frías, que obligan a las plantas a reducir drásticamente su transpiración y sus pérdidas calóricas. Por esto se encuentran plantas en cojines, con brotes de renovación protegidos (hemipterofitas). Ejemplos representativos son las yaretas (Azorella compacta), que forman apretados montículos de muchos individuos. Esta especie ha sido sobre-explotada para obtener combustible, debido a su alto contenido de resinas, y se encuentra en peligro de desaparecer. En otros lugares crece un pajonal muy abierto de gramíneas en macollos como el iru-ichu (Festuca orthophylla) y otras especies duras (Stipa, Calamagrostis). Durante la época húmeda aumenta la cobertura vegetal, con la aparición de plantas de crecimiento efímero (terófitas). Se encuentran también arbustos bajos que crecen en forma dispersa, muchos de ellos siempre verdes, como Baccharis, Parastrephia, Adesmia y Senecio. Algunos bosquillos abiertos de kewiña (Polylepis tomentella, P. tarapacana) forman anillos alrededor de los volcanes, y llegan en el cerro Sajama hasta los 5200 m, la mayor altura que se conoce para cualquier árbol en el mundo. Han sido fuertemente explotados por la gente local para obtener leña y herramientas y para la construcción de viviendas. El aprovechamiento para obtener carbón para la fundición de minerales acabó con numerosos bosques de este tipo.

La mayor extensión de la zona altoandina semihúmeda se encuentra en la Cordillera Oriental, con las laderas principales dirigidas hacia el altiplano. Estas laderas tienen pendientes fuertes y presentan afloramientos rocosos, que pueden formar grandes paredes verticales. El factor determinante para las plantas es la exposición general de las laderas y el microrelieve del lugar. Las laderas con exposición norte o noroeste reciben más calor, pero son también más secas que las laderas expuestas al sur o suroeste que reciben menos sol. La cantidad de meses lluviosos disminuye levemente de norte a sur.

Dominan en esta zona las gramíneas de hojas duras como la paja brava o ichu (Stipa ichu) y algunas tolas (Baccharis incarum, Parastrephia lepidophylla). Entremezclados con ellos se ven numerosas hierbas, gramíneas rastreras y plantas en roseta, según las condiciones edáficas y la intensidad del pastoreo. En

las zonas más altas, las plantas toman la forma de cojines bajos, como una protección contra el viento. Los cultivos son muy escasos, se encuentra algo de papa amarga y muy ocasionalmente un poco de papalisa u oca. Son principalmente regiones de pastoreo para llamas y alpacas, pero también se han introducido numerosas ovejas y a veces vacunos.

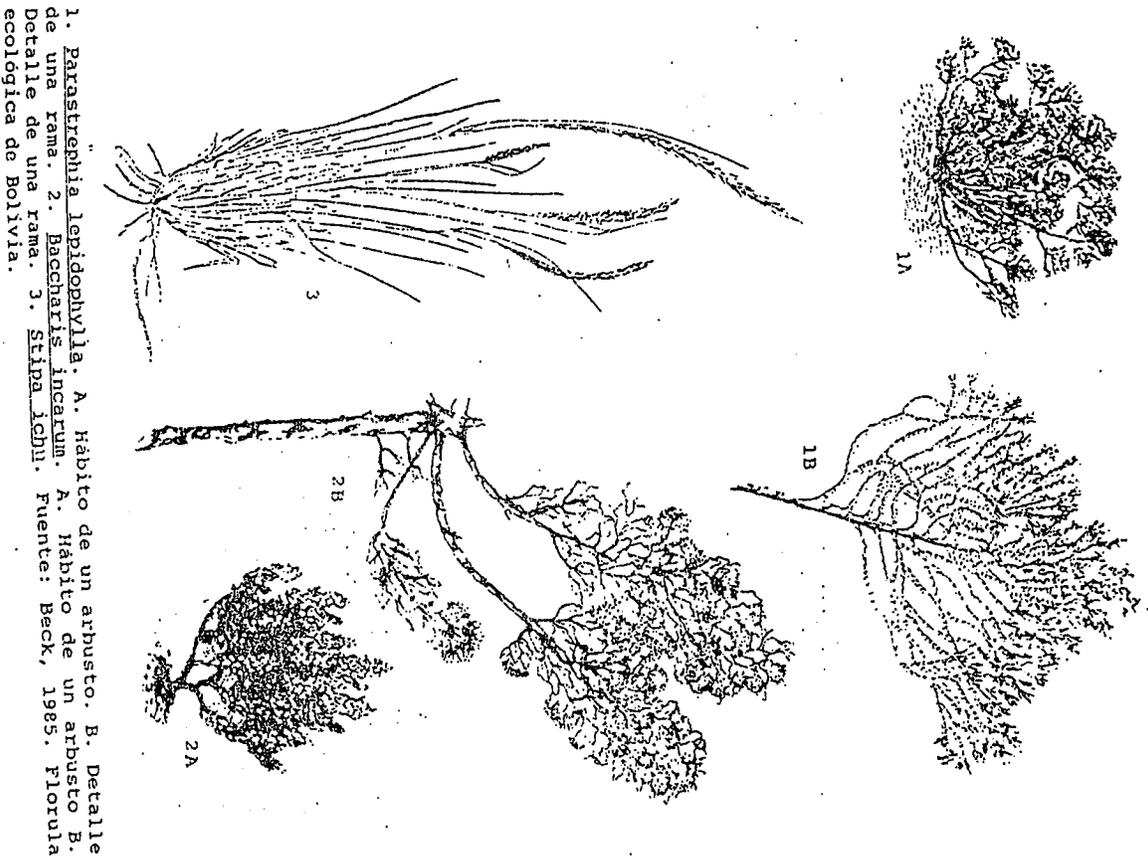
Uno de los recursos importantes de la zona altoandina son los bofedales o vegas de altura, que se desarrollan en zonas permanentemente húmedas por la existencia de manantiales o agua de deshielo. Crece allí una gran variedad de especies muy importantes para el pastoreo, especialmente en la época seca. Existen bofedales con dominancia de cojines duros formados por plantas muy apretadas (Distichia muscoides, Oxychloe andina) y otros con una gran cantidad de gramíneas y hierbas de buen valor forrajero (por ejemplo, Calamagrostis, Poa, Juncus, Carex, etc.).

2.2. La región de la puna.

Se puede diferenciar en la puna una ecoregión semi-húmeda, que corresponde al altiplano norte y una región más seca que concierne el altiplano central y sur. En efecto, la duración de la época húmeda disminuye a medida que avanzamos hacia el sur del altiplano. En la proximidad del lago Titicaca, el período húmedo puede durar ocho meses, en el altiplano sur es de menos de un mes. Existe también una disminución en el promedio anual de las temperaturas mínimas diarias a lo largo de un gradiente norte-sur, pero en toda la región se presentan heladas nocturnas ocasionales, aún en verano.

El altiplano norte lleva el tipo de formación vegetal de la puna semi-húmeda, es decir una pradera con gramíneas y arbustos. El desarrollo de árboles es sin duda posible en esta región ecológica, como lo demuestran algunas plantaciones aisladas de kiswara (Buddleja coriacea) y kewiña (Polylepis spp.) y la introducción de eucaliptos. Pero cientos de años de intensa explotación para obtener materiales de construcción, herramientas y combustible, han hecho desaparecer los árboles nativos, que son de crecimiento más lento que el eucalipto. En las quebradas húmedas crecían probablemente árboles de aliso (Alnus acuminata), sauco (Salix humboldtiana), sauco (Sambucus peruvianum) y otros. En algunos lugares se mantiene la Puya raimondii, como un ejemplo espectacular de la flora andina.

En la región dominan los cultivos de papa, quinua, cebada y habas, en un sistema tradicional de rotación de cultivos que deja muchas parcelas en barbecho. Estos campos en descanso se usan continuamente para el pastoreo, lo que dificulta su recuperación y deja solamente malezas que no son apetecidas por el ganado. Ejemplos típicos son las diversas especies resinosas de tola (Baccharis spp.) y plantas espinosas como Adesmia y Tetra-



1. *Parastrephia lepidophylla*. A. Hábito de un arbusto. B. Detalle de una rama. 2. *Baccharis incarum*. A. Hábito de un arbusto. B. Detalle de una rama. 3. *Stipa ichu*. Fuente: Beck, 1985. Flora ecológica de Bolivia.

glochin, además de gramíneas duras como el ichu (*Stipa ichu*), que el ganado come solamente en poca cantidad, cuando las plantas se encuentran en estado tierno.

Las condiciones climáticas de la puna seca son menos favorables que en el norte del altiplano. Existen grandes extensiones de suelos salinos, que permiten solamente algunos cultivos como la quinua y la cañahua, los tubérculos andinos y con menor éxito la cebada. En la región pastorean grandes rebaños de ovejas, y en menor escala llamas, alpacas y vacunos. La fuente de alimentación más importante para el ganado se encuentra en las depresiones de las inmensas planicies. Allí domina un cesped bajo de gramíneas como *Muhlenbergia fastidiatá*, *Distichlis humilis*, conocidas en conjunto como "chijín" y otras gramíneas que crecen en pequeñas matas, como *Festuca* y *Calamagrostis*. Pueden encontrarse algunas otras hierbas que toleran la alta concentración de sales en la época seca, y las inundaciones durante la corta época de lluvias; se observan también cojines de yaretilla (*Tunellia minima* = *Verbena minima*). En algunos lugares dominan los arbustos pequeños de kauchi (*Suaeda fruticosa*), con hojas succulentas. Esta especie es muy importante para el ganado ovino y constituye su alimento básico en la época seca. En los suelos arenolimosos crecen arbustos pequeños pertenecientes a varias especies de tola (*Baccharis incarum*, *B. boliviensis*, *Fabiana densa*, *Parastrephia lepidophylla*). En las laderas más calientes se encuentran ocasionalmente cactáceas columnares o en forma de cojín o de bola (*Oreocereus*, *Lobivia*, *Opuntia*).

Uno de los paisajes más llamativos de la puna árida son los salares, que se han formado por evaporación del agua proveniente de la cuenca del altiplano. Los salares propiamente dichos no llevan ningún tipo de vegetación, pero cerca a ellos y en las lagunas podemos diferenciar una zonificación de las plantas de acuerdo a la salinidad. Se encuentran así desde tolares halofíticos con *Parastrephia lujida*, hasta islas de cesped con plantas rastrojas y en cojines (*Triglochin maritima*, *Salicornia puvina*, *Anthobryum* spp.), rodeadas de suelo salino desnudo o de agua salobre.

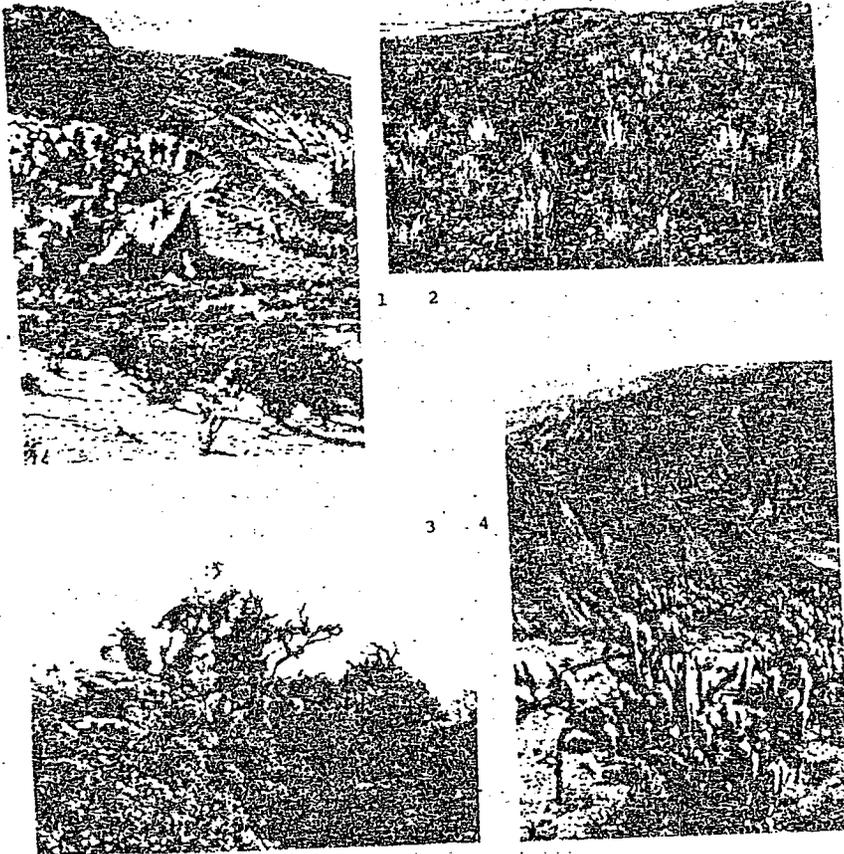
Las regiones de dunas más extensas de Bolivia se encuentran en el altiplano central y sud. La causa principal para que se formen las dunas, es la falta o escasez de una capa vegetal protectora. Por esto, el uso de la tola como combustible y el sobrepastoreo aceleran la formación de arenales. En general, las dunas viejas están cubiertas de vegetación pionera, que corresponde a la región ecológica colindante. Esta vegetación fija la arena y ayuda a frenar el desplazamiento de las dunas. Se debe mencionar en este sentido, el efecto fijador de un arbusto achaparrado que puede alcanzar 1,5 m de altura, la lampaya (*Lamaya castillanji*). Otras especies comunes de los arenales altiplánicos son el iru ichu (*Festuca orthophylla*) y la tola (*Parastrephia lepidophylla*).

2.3. La región de los Yungas.

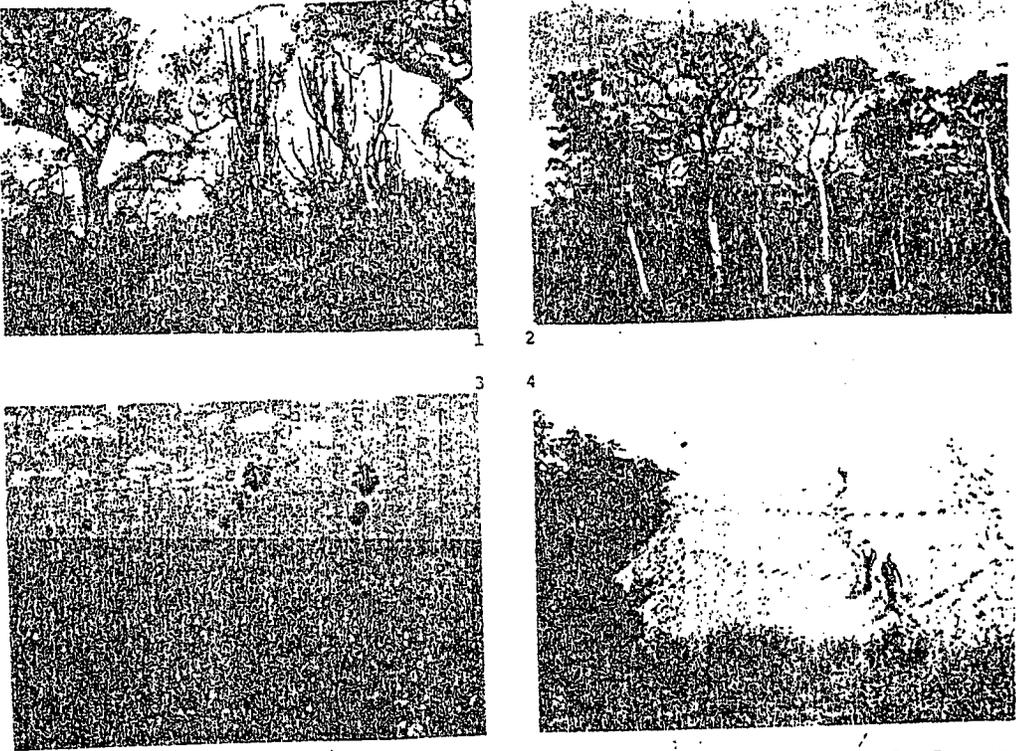
Esta región se refiere principalmente a los bosques de las laderas orientales húmedas de los Andes. Se trata de una región muy heterogénea desde el punto de vista de su ecología: en variaciones altitudinales de algunos cientos de metros existen cambios fuertes de temperatura, precipitación y suelos; el relieve varía también mucho según el piso altitudinal.

La ceja de montaña, situada entre 2800 y 3400 m de altura, se caracteriza por sus pendientes muy pronunciadas y sus condiciones de alta humedad, con 11 a 12 meses húmedos por año. La temperatura media anual disminuye de acuerdo a la altura, desde 15°C a los 2800 m hasta 10 °C en las partes más altas, con una precipitación anual estimada en 2500 a 3500 mm. Las nubes se acumulan casi diariamente y se producen lloviznas persistentes. El bosque de ceja, muy denso, se compone casi exclusivamente de especies siempre verdes, entre las cuales dominan las especies con hojas coriáceas de pequeño tamaño, por ejemplo Weinmannia microphylla (puca huaycha), Myrica pubescens (laurel de cera) y Podocarpus spp. (pinos del monte). Es característico para esta formación el elevado porcentaje de epifitas, especialmente de musgos, en todos los estratos de la vegetación, principalmente en el estrato arbóreo (Lewis, 1988). Abundan también diferentes tipos de bambú (Chusquea spp.) en los lugares alterados por la intervención humana. En general, la ceja de montaña se encuentra bastante bien conservada, debido a su accesibilidad restringida y su clima desfavorable para la colonización. Sin embargo, ha existido localmente una explotación irracional del pino de monte.

En la zona situada entre 1500 y 2500 metros, los contrastes entre valles profundos y altas montañas son notorios. La época seca alcanza unos dos meses en promedio y la temperatura media anual varía entre 16 y 20°C según el piso altitudinal. Debido a su clima favorable, hace muchos años que fueron colonizadas estas zonas y su capa de vegetación se encuentra fuertemente alterada. Originalmente crecía en esta zona un bosque de mediana altura, con una gran diversidad de especies. Ejemplos de valor forestal eran las especies de nogal (Juglans) y cedro (Cedrela odorata). Actualmente, aparte de numerosas plantaciones de cítricos, café y coca, se ven amplias áreas con "chumi" es decir, bosques arbustivos secundarios, que se caracterizan por la presencia de numerosos arbustos y árboles pequeños, además del helecho Pteridium aquilinum. En los lugares empobrecidos, con suelos ácidos y que se queman a menudo, solamente se mantiene un pastizal alto con especies no apreciadas por el ganado y unos pocos árboles resistentes al fuego como el alcornoque (Tabebuia caraiba) y el papayón (Cybistax antisiphilitica).



1. Bosquacillo de altura con Polylepis. 2. Puna semiárida con pajonal de Spiza. 3. Bosque húmedo siempre verde de ceja de montaña (Yungas), con epifitas. 4. Vegetación de valles secos altos, con cactáceas.
Fotografías: Stephan Beck.



1. Bosque seco caducifolio con cactáceas y árboles espinosos. 2. Bosque semihúmedo caducifolio con palmeras. 3. Sabana inundable con palmeras. En primer plano, bajo con taropes. 4. Dunas formadas por erosión cólica, con vegetación pionera. Fotografías: Stephan Beck.

2.4. Las serranías y los valles interandinos.

Numerosos valles y montañas, situados en las laderas altas de la Cordillera Oriental, no reciben suficientes lluvias para el desarrollo de bosques siempre verdes, pero sí para un bosque decíduo, que pierde las hojas durante la época seca. Situados en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Tarija y La Paz, estos valles se ubican generalmente entre 2800 y 1800 m s.n.m. La falta de lluvias se origina por una parte en la ubicación climática general y por otra parte en la situación orográfica local, porque las cadenas montañosas altoandinas impiden el paso de los vientos cargados de humedad. Otro factor limitante son los vientos secos que bajan del altiplano.

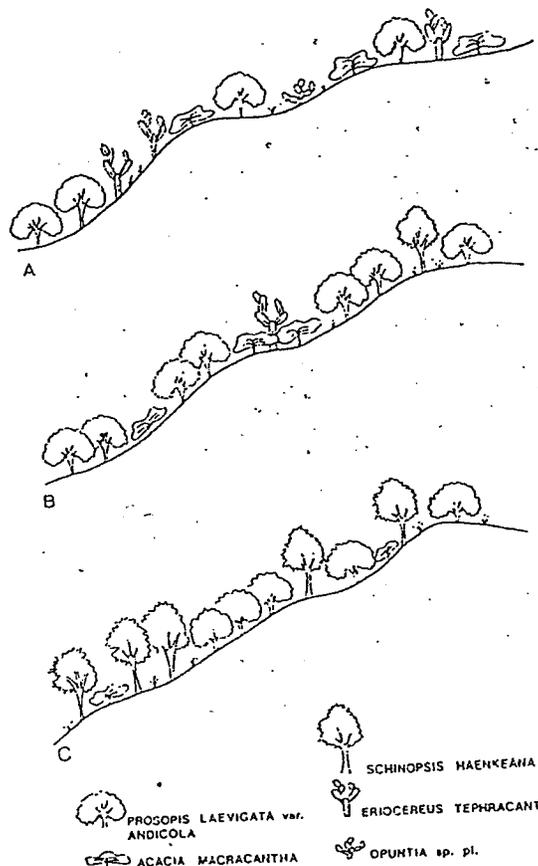
El bosque seco natural se encuentra en la actualidad casi totalmente destruido. En el pasado posiblemente dominaba un bosque tupido de soto (*Schinopsis haenkeana* y *S. brasiliensis*), cebil (*Anadenanthera colubrina*), cuchi (*Astronium urundeuva*) y una especie siempre verde, el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). Actualmente esta región tiene poca vegetación arbórea y solamente crecen especies resistentes al sobrepastoreo y a la quema, como el algarrobo (*Prosopis alba*), varias acacias (*Acacia macracantha* y *A. laevigata*) y ocasionalmente una papaya silvestre (*Carica quercifolia*). En varias áreas dominan arbustos de chacateta (*Dodonaea viscosa*) y tolas altas (*Baccharis dracunculifolia*, *Eupatorium bunifolium*).

En muchas zonas se presentan graves problemas de erosión, con las consiguientes pérdidas de áreas de cultivo y pastoreo. La falta de una capa de vegetación protectora causa el rápido escurrimiento superficial del agua y la formación de cárcavas de erosión.

2.5. La faja subandina.

Los bosques húmedos subandinos corresponden a las regiones de Alto Beni y el Chapare. Los valles de los ríos son generalmente anchos y forman varias terrazas utilizadas para fines agrícolas. Su clima se destaca por altas temperaturas, con promedios anuales de 20 a 25°C y una humedad muy alta (más de 5000 mm de precipitación en Villa Tunari).

Los bosques que no fueron explotados se presentan con varios estratos arbóreos superpuestos y una gran diversidad de especies, algunos árboles pueden medir más de 30 metros (Unzueta, 1975). Dominan numerosas epifitas vasculares de las familias Bromeliaceae, Orchidaceae y Araceae. En los claros y cerca a los ríos, en zonas aluviales, se ven frecuentemente manchones de ambaiño (*Geeropia spp.*).



Perfil de chaparral de valles secos andinos.
 A. Chaparral abierto de Acacia y Prosopis con cactáceas.
 B. Chaparral cerrado con Acacia y Prosopis.
 C. Chaparral con árboles de Schinopsis haenkeana.
 Fuente: Pedrotti et al., 1988.

La región presenta un desarrollo agrícola importante. Su desarrollo fue dirigido casi exclusivamente a un fomento agrícola en base al arroz y frutícola con plátanos y cítricos. A esto se deben añadir las plantaciones de coca cada vez más extensas y que difícilmente se pueden sustituir con cultivos de un valor equivalente. El resultado es la degradación y destrucción de la vegetación natural, que son cada vez más notorias, sobre todo en el Chapare.

El bosque semihúmedo subandino corresponde principalmente a la formación boscosa tucumana-boliviana, que se extiende desde Santa Cruz hasta Tucumán, en Argentina. La vegetación varía de este a oeste, de acuerdo al aumento de las precipitaciones y a la disminución del promedio de temperaturas que acompañan a la elevación del relieve. En el piso submontano crecía un bosque de laurel bastante diverso, pero la explotación de esta formación vegetal ha sido excesiva y hoy dominan especies espinosas y algunos restos de monte con lapacho negro (Tabebuia lapacho, T. impetiginosa) y cedrillo (Cedrela lilloi).

En un piso más alto y más húmedo se encuentran restos de bosques de Myrtáceas, como el mato (Myrcianthes spp.). A 2000 metros de altura se encuentra todavía el pino de monte Podocarpus parlatorei, fuertemente explotado a pesar de su difícil accesibilidad.

2.6. La llanura beniana y pandina.

La selva subhúmeda es una zona plana o levemente ondulada, por debajo de 300-500 metros sobre el nivel del mar, que se extiende desde la faja subandina de los Yungas inferiores hasta el Escudo Brasileño, formando la mayor parte de la cuenca amazónica. Las precipitaciones anuales llegan aproximadamente a 1300 - 2300 mm, con una época seca de 2 a 3 meses. La temperatura media anual oscila alrededor de los 25°C. Dominan los suelos aluviales con una capa de humus delgada.

Esta extensa región lleva una vegetación boscosa muy diversa, donde dominan las especies siempre verdes. Ejemplos son el sangre de toro (Virola sp.) y el palo maria (Calophyllum brasiliense), maderas de mucha importancia económica. Las diferencias florísticas en la selva subhúmeda se relacionan directamente con la duración de la época seca. A medida que se alarga este período, aumentan las especies caducifolias y aparece mayor estacionalidad en la floración y la formación de frutos (Beck, 1986). En el norte de la región, principalmente en el departamento de Pando, se explota la siringa o goma (Hevea brasiliensis), se colecta castaña o nuez del Brasil (Bertholletia excelsa) y crecen especies silvestres del cacao (Theobroma speciosa). Más al sur aumenta el número de especies de hojas caducifolias como la mara o caoba (Swietenia macrophylla) y el

ochóo (Hura crepitans).

Los bosques del Beni contienen elementos amazónicos, chaqueños y del Cerrado brasileño. Las especies amazónicas dominan a lo largo de los ríos, formando bosques de galería, mientras que los elementos chaqueños y cerrados predominan en las zonas de sabana y los bosques alterados (Beck, 1986).

Las sabanas comprenden extensas planicies en el departamento del Beni, además de otras áreas relativamente pequeñas de la provincia Iturrealde (departamento de La Paz) y de los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz. Su relieve es casi plano o levemente inclinado hacia la cuenca hidrográfica. El promedio de altura es de 200 m s.n.m. Las partes bajas de la zona se inundan cada año durante varios meses, de acuerdo con su altura y localización. El clima se caracteriza por la alternancia anual de épocas húmedas y secas.

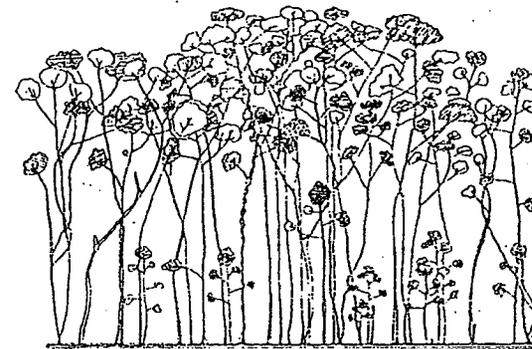
Los factores determinantes para la distribución de la vegetación en las sabanas inundables son la ocurrencia o no de inundaciones, su duración y la forma de utilización de la zona. En un estudio detallado de las sabanas del río Yacuma, Beck (1983, 1984) describió 30 tipos de vegetación, excluyendo los bosques de galería e islas de bosque. En las zonas más bajas, como las cañadas y pantanos, crecen todo el año plantas acuáticas como los taropes (Eichhornia y Nymphaea), los badilejos (Pontederia, Sagittaria), el patujú del bajío (Thalia geniculata) y el junquillo (Cyperus giganteus). En cambio las áreas bajas con drenaje llevan pastos valiosos para la ganadería, como el arrozillo (Leersia hexandra) y la cañuela (Hymenachne y Luziola). Otras áreas, que rara vez o nunca se inundan, están cubiertas por gramíneas altas con poco valor forrajero, como la cola de ciervo (Andropogon bicornis) y otros.

En las riberas de los ríos y las alturas que forman islas de bosque, se encuentran especies siempre verdes, como las palmeras motacú (Scheelea princeps) y sumuque (Syagrus sancona) y árboles caducifolios, como el higuérón (Ficus spp.) y el coco (Guazuma ulmifolia).

Cerca de los poblados se encuentran lugares sometidos al sobrepastoreo, en los cuales dominan las malezas forrajeras no apetecidas por el ganado. Varios árboles aislados o arbustos resistentes a la quema se encuentran dentro de las praderas en lugares de semialturas, entre éstos tenemos al paichané (Vernonia spp.) y árboles con corteza gruesa como el alcornoque (Tabebuia caraiba) y el chaaco (Curatella americana).



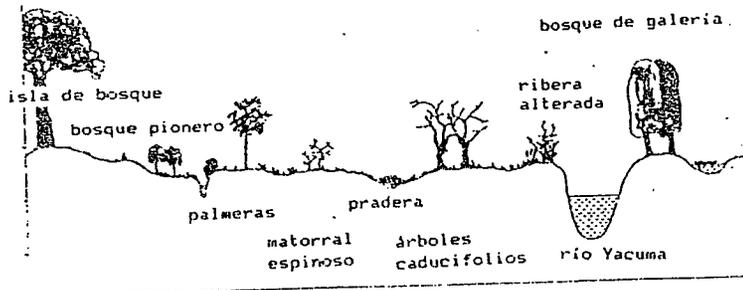
Perfil de selva húmeda tropical con abundancia de epifitas.
Fuente: Sioli, 1968.



Perfil de selva semi-húmeda tropical. Fuente: Sioli, 1968.



Eichhornia crassipes, hábito. Fuente: Holm et al., 1977.



Perfil de la sabana inundable del río Yacuma. Fuente: Beck, 1984.

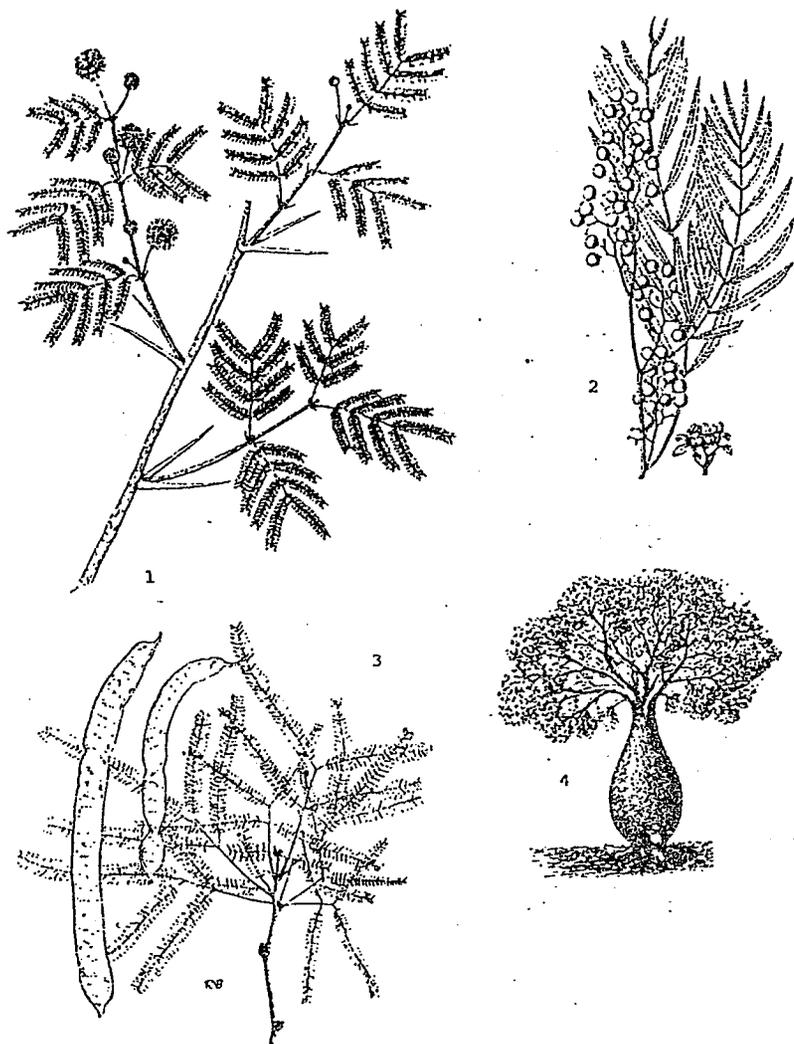
2.7. La llanura sudoriental.

La región de monte semihúmedo, situada en el este del país, se refiere a una zona de planicies y colinas de las provincias Velasco y Nuflo de Chavez del departamento de Santa Cruz. La altura media es de 500 m s.n.m. y se presentan por lo menos tres meses áridos, durante los cuales el balance hídrico es negativo. La gran riqueza en maderas de esta zona se está perdiendo, debido a la explotación selectiva de especies de alto valor económico como la mara (*Swietenia macrophylla*) y el roble (*Amburana cearensis*), y a la ampliación de la zona agrícola cruceña. Otro elemento típico de la región es el morado (*Machaerium spp.*) que se utiliza para el enchapado de muebles. También se encuentran árboles de cuchi (*Astronium urundeuva*), con madera muy pesada, y de cebil (varias Mimosaceae). Dentro de la misma unidad fitogeográfica se encuentran también las palmeras de cusi (*Orbignya phalerata*).

El monte semiárido se ubica principalmente en las regiones del Chaco propiamente dicho y regiones aledañas de los departamentos de Chuquisaca y Tarija. Su topografía es casi completamente plana, con alturas entre 100 y 350 m s. n. m. La temperatura media anual está por encima de 20°C. Desde el pie de la Cordillera hacia el Chaco Central hay una disminución de las precipitaciones, desde 1000 mm a unos 500 mm anuales, lo cual se refleja en el tipo de vegetación que se encuentra en cada zona. La menor cantidad de agua disponible en la parte sureste origina un monte más abierto que comprende más plantas caducifolias y xerófitas. Los habitats alterados son ocupados por especies de amplia adaptación: malezas de crecimiento rápido y especies de espinas o latex. Ejemplos son las diferentes especies de piñón (*Jatropha*), que tienen una amplia distribución en el Chaco.

La parte norte del Chaco es una región boscosa, con árboles que ocasionalmente llegan a una altura de 20 metros. En la proximidad de los Andes se encuentra frecuentemente un bosque abierto de soto (*Schinopsis haenkeana*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), similar a los bosques de los valles secos interandinos. Dominan allí la chichapi o tala (*Celtis spp.*) y el mistol (*Zizyphus mistol*). Como elemento típico se puede ver el toborochi o palo borracho (*Chorisia insignis*) con su fuste abultado. En lugares más intervenidos quedan sólo las especies arbustivas y espinosas. Actualmente, varias especies de algarrobo (*Prosopis*) están sustituyendo al famoso quebracho colorado (*Schinopsis quebracho-colorado* = *S. lorentzii*), fuertemente explotado para la extracción de tanino, la provisión de leña y la fabricación de durmientes para los ferrocarriles.

La zona arenosa y las dunas que bordean el pie de la cordillera hacia el Gran Chaco, desde la frontera argentina hasta Santa Cruz, ocupan aproximadamente 15.000 km² de superficie (Jordan, 1983). La arena de las dunas proviene principalmente del



1. *Acacia farnesiana*. Según Pennington y Surakhan, 1968.
 2. *Schinus molle*, según Dimitri, 1980. 3. *Prosopis alba*, según Burkart, 1987. 4. *Chorisia insignis*, según Dimitri, 1980.

material de aluvión de los ríos, que es arrastrado por el viento. También contribuyen a la formación de dunas la práctica del monocultivo y el desmonte con maquinaria pesada, especialmente en época seca.

En la mayoría de estos arenales crecen plantas rastroas que se adaptan al ambiente y ayudan a fijar la arena. A pesar de esto existen dunas migratorias que ocasionalmente pueden cubrir el monte, causando la muerte de la vegetación. También pueden producir daños a los cultivos e interrumpir las vías de comunicación.

BIBLIOGRAFIA.

- ARCE PEREIRA, L., 1963.
 Formaciones fitogeográficas de Bolivia. En: Memoria de la Sociedad de Ingenieros Agrónomos de Bolivia, La Paz.
- BECK, S.G., 1983.
 Vegetationsoekologische Grundlagen der Viehwirtschaft in den Ueberschwemmungs-Savannen des Rio Yacuma. Dissertationes Botanicae, 80, J. Cramer Verlag.
- BECK, S.G., 1984.
 Comunidades vegetales de las sabanas inundadizas en el Noreste de Bolivia. Phytocoenologia, (12), 2/3, 321-350.
- BECK, S.G., 1985.
 Florula ecológica de Bolivia. Ecología en Bolivia, 6, Instituto de Ecología, UMSA.
- BECK, S.G., 1986.
 Flora y vegetación natural y alterada de la cuenca amazónica boliviana. En: Impacto del desarrollo en la ecología del trópico boliviano, Santa Cruz, 8-17.
- BECK, S.G., 1988.
 Las regiones ecológicas y las unidades fitogeográficas de Bolivia. En: Morales, Manual de Ecología, 233-271.
- CDC (Ed.), 1988.
 Diagnóstico de la diversidad biológica de Bolivia. Centro de Datos para la Conservación, Herbario Nacional de Bolivia, Museo Nacional de Historia Natural, Centro Interdisciplinario de Estudios Comunitarios, Conservación Internacional: Informe para USAID, La Paz, 2 vol.
- DIMITRI, M.J., 1980.
 Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Ed. Acne, Buenos Aires.

- DUELMANN, W.E. (Ed.), 1979
The South American herpetofauna: its origin, evolution and dispersal. Univ. Kansas Mus. Nat. Hist. Monogr. 7.
- ELLENBERG, H., 1975.
Vegetationsstufen in perhumiden bis perariden Bereichen der tropischen Anden. Phytocoenologia, 2 (3/4), 368-387.
- ELLENBERG, H. 1981.
Desarrollar sin destruir. Instituto de Ecología, UMSA, La Paz.
- ERTS - GEOBOL, 1978.
Mapa de cobertura y uso actual de la tierra. En IGM: Atlas de Bolivia. Ed. Geomundo, Barcelona.
- FITTKAU, E.J. *et al.*, 1968.
Biogeography and ecology in South America, W.Junk, La Haya.
- FOSTER, R., 1958.
A catalog of the ferns and flowering plants of Bolivia. Contr. Gray Herbarium, 184.
- HAFFER, J., 1969.
Speciation in Amazon forest birds. Science, 165, 131-137.
- HERZOG, T., 1909.
Pflanzenformationen aus Ostbolivien. En: G. Karsten y H. Schenl (Eds.) Vegetationsbilder. Jena.
- HERZOG, T., 1923.
Die Pflanzenwelt der bolivianischen Anden und ihres oestlichen Vorlandes. Leipzig, Engelmann.
- HOLDRIDGE, L.E., 1979.
Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Costa Rica.
- HOLM, L.G., PLUCKNETT, D.L., HERBERGER, J.P., 1977.
The world's worst weeds. Univ. Press of Hawaii, Honolulu.
- HUECK, K., 1978.
Los bosques de Sudamérica. Ecología, composición e importancia económica. GTZ, Eschborn.
- HUECK, K. y SEIBERT, P., 1972.
Mapa de la vegetación de América del Sur. Fischer Verlag, Stuttgart.
- JORDAN, E., 1983.
Los arenales de Bolivia en su múltiple diferenciación. Ecología en Bolivia, 3, 1-38.

- LARA, R., 1985.
Mapa de vegetación de Bolivia. En: IGM, Atlas de Bolivia. Ed. Geomundo, Barcelona.
- LEWIS, M., 1988.
En: CDC (Ed.), Diagnóstico de la diversidad biológica de Bolivia, La Paz.
- MARZOCCA, A., 1985.
Nociones básicas de taxonomía vegetal. Ed. IICA, San José, Costa Rica.
- MEYER, T. y BARKLEY, F.A., 1973.
Revisión del género *Schinopsis* (Anacardiaceae). Lilloa XXXIII, 11, Tucumán.
- MUELLER, P., 1979.
Introducción a la zoogeografía. Editorial Blume, Barcelona.
- MONTES DE OCA, I., y BROCKMANN, C., 1971.
Investigación de los recursos naturales de Bolivia. V Reunión panamericana del Comité de Recursos Naturales IPGH de la OEA, La Paz.
- MUÑOZ REYES, J., 1982.
Geografía de Bolivia. 2a ed., Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, La Paz.
- PEDROTTI, F., VENANZONI, R., SUAREZ TAPIA, E., 1988.
Comunidades vegetales del valle de Capinota, Cochabamba. Ecología en Bolivia, 11, 25-45.
- PENNINGTON, T.D. y SURAKHAN, J., 1968.
Arboles tropicales de México. Inst. de Inv. Forestales, Secr. de Agricultura y Ganadería, México.
- RAVEN, P.H. y AXELROD, D.I., 1975.
History of the flora and fauna of Latin America. American Scientist, 63, 420-429.
- SIMPSON, B.B., 1979a.
Quaternary biogeography of the high montane regions of South America. En: Duellmann, W.E. (Ed) The South American herpetofauna: its origin, evolution and dispersal. Univ. Kansas Mus. Nat. Hist. Monogr. 7, 157-187.
- SIMPSON, B.B., 1979b.
A revision of genus *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae). Smithsonian Contributions to Botany, 43. Smithsonian Institution Press, Washington.

- SIMPSON, B.B., 1983.
An historical phytogeography of the high andean flora.
Rev. chilena de historia natural, 56, 109-122.
- SIOLI, H., 1968.
Oekologie des Amazonas-Gebietes. En Fittkau *et al.*:
Biogeography and ecology of South America, Vol 1, 137-
170.
- TOSI, J.A., UNZUETA, O., HOLDRIDGE, L.R. y GONZALES, A., 1975.
Mapa ecológico de Bolivia. MACA, La Paz.
- TROLL, C., 1968.
The cordilleras of the tropical Americas: aspects of
climate, phytogeographical and agrarian ecology. En:
Troll (Ed.), Geo-ecology of the mountainous regions of
the tropical Americas. Dümmlers Verlag, Bonn.
- UNZUETA, O., 1975.
Memoria explicativa del Mapa ecológico de Bolivia.
MACA, La Paz.
- UYEDA, S., 1980.
La nueva concepción de la tierra. Continentes y océanos
en movimiento. Ed. Blume, Serie Ecología, Barcelona.
- VAN DER HAMMEN, T., 1974.
The pleistocen changes of vegetation and climate in
tropical South America. Journal of biogeography, 1, 3-
26.
- VILLALBA, M.L., 1987.
Dieta alimenticia de ovejas en pastoreo y algunos
aspectos sobre su manejo en una comunidad del altiplano
central. Tesis de licenciatura en biología, UMSA, La
Paz.
- WALTER, H. 1977.
Vegetation of the Earth. 2a ed. Heidelberg Science
Library, Springer-Verlag.

2. La fauna de Bolivia.

"El capitán Samaritano les explicó cómo la deforestación irracional había acabado con el río en cincuenta años: las calderas de los lagos habían devorado la selva enmarañada de árboles colosales que Florentino Ariza sintió como una opresión en su primer viaje. Fermina Daza no veía los animales de sus sueños: los cazadores de pieles de las tenerías de Nueva Orleans habían exterminado los caimanes que se hacían los muertos con las fauces abiertas durante horas y horas en los barrancos de las orillas para sorprender a las mariposas; los loros con sus algarabías y los micos con sus gritos de locos se habían ido muriendo a medida que se les acababan las frondas, los manatíes de grandes tetas de madres que amamantaban a sus crias y lloraban con voz de mujer desolada en los playones eran una especie extinguida por las balas blindadas de los cazadores de placer."

Gabriel García Marquez, El amor en los tiempos del cólera.

2.1. Historia de la fauna de Sudamérica.

El mundo animal de Sudamérica es en extremo rico y diverso. Unicas también son las adaptaciones que resultan de la coevolución de plantas y animales, en especial la frecuencia de mimetismos (ver por ejemplo Baker, 1970; Gilbert y Raven, 1980; Janzen, 1978). Vale la pena recordar que fue gracias a sus observaciones de la flora y fauna sudamericanas, que Charles Darwin desarrolló sus ideas sobre el origen de las especies.

Es también notable el alto grado de endemismo en este continente. La abundancia de órdenes, familias y géneros endémicos testifican el largo periodo de aislamiento del continente sudamericano (ver capítulo anterior). El puente de tierra que existe actualmente en América Central se estableció hace unos 2 o 3 millones de años, al final del Plioceno (Fittkau, 1969). Desde entonces, empezó el intercambio de fauna entre los dos subcontinentes, que sin duda prosigue aún hoy. Actualmente, muchos elementos neotrópicos se extienden hasta Canadá, mientras que formas neárticas, provenientes de América del Norte, penetran hasta los Andes meridionales. Esta cadena montañosa ofreció un camino adecuado para las migraciones norte-sur de la fauna de

Climas templados, aunque las zonas más áridas de los Andes Centrales han podido actuar como una barrera natural para ciertas especies. Existen pocos ejemplos de animales que poseen un área de distribución que se extiende del extremo norte al extremo sur del continente, como el puma (*Felis concolor*), de origen neártico, y la comadreja (*Didelphis marsupialis*) que invadió el sur de Estados Unidos desde el Neotrópico.

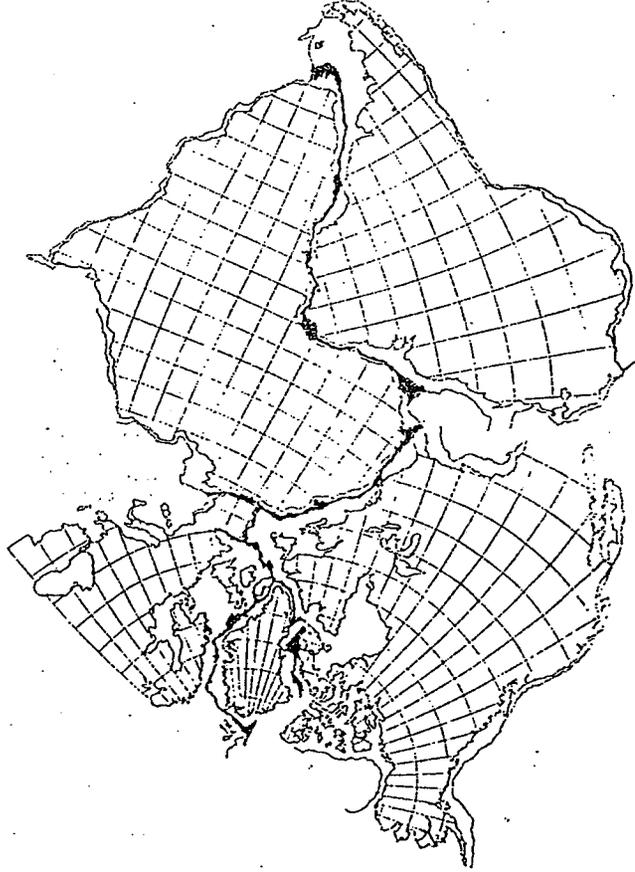
La importancia del puente centro-americano se pueda demostrar fácilmente para el grupo de los mamíferos, para los cuales existe una buena cantidad de fósiles. El flujo de migración se efectuó principalmente en el sentido norte-sur. Debido al enfriamiento global de la tierra durante el Pleistoceno, las formas sudamericanas, adaptadas a climas cálidos, encontraron barreras climáticas en sus migraciones hacia el norte. Además, muchos marsupiales neotrópicos no podían competir eficazmente con las formas placentarias equivalentes que se habían desarrollado en América del Norte.

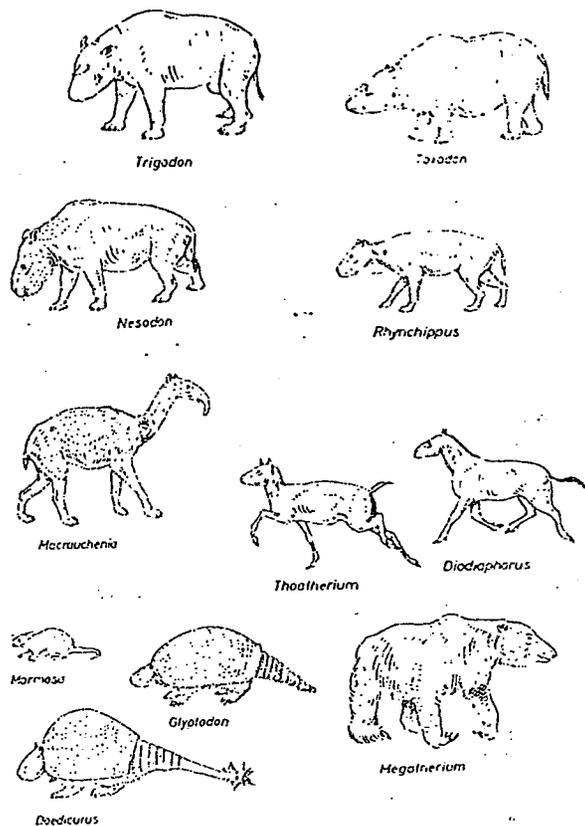
Algunos de los órdenes de mamíferos sudamericanos, como los lipoternos y los notonguilados, se extinguieron como resultado de la invasión de animales con el mismo nicho ecológico; solamente sobrevivieron algunos edentados muy especializados, como los armadillos (*Dasyrodidae*), osos hormigueros (*Myrmecophagidae*) y perezosos (*Bradypodidae*). Los otros grupos que se mantuvieron comprenden animales pequeños como las comadrejas (*Didelphidae*), roedores (*Rodentia*) y murciélagos (*Chiroptera*). Algunas de estas especies llegaron a invadir a su vez la región neártica. Por otra parte, algunas familias neárticas, principalmente los camélidos, se extinguieron en su lugar de origen (Norte de América) manteniéndose en cambio en el Neotrópico.

Como una consecuencia de las oscilaciones térmicas del Pleistoceno, ocurrieron grandes cambios en la vegetación de los bosques tropicales, formándose estepas y sabanas en regiones anteriormente boscosas. Estos cambios han podido causar la desaparición de muchos mamíferos grandes, de lo cual son testigos los numerosos fósiles de Tarja.

En los otros grupos de vertebrados es más difícil seguir lo que ha pasado, debido a la falta de documentación fósil. Sin embargo, estudios zoológicos y filogenéticos hacen suponer que no hubo la misma magnitud de intercambios que en el caso de los mamíferos. Estos últimos se caracterizan por su gran dinamismo evolutivo, adaptabilidad y potencial de dispersión. En los otros grupos de animales, el endemismo se mantuvo en gran medida a pesar de la unificación de los dos subcontinentes. Quizá para muchos vertebrados y vertebrados inferiores, el tiempo trascurrido es demasiado corto aun para haberse adaptado a las nuevas oportunidades ecológicas ofrecidas. Solamente en el grupo de las aves y de los insectos hubo una invasión apreciable de grupos neárticos: solamente 30 de las 93 familias de aves del Neotrópico son endémicas y 10 de ellas se restringen al continente sudamericano. En los reptiles el endemismo es mucho

La teoría de la deriva de continentes se basa en parte en el ajuste de los límites de las plataformas continentales (tomadas a 1000 m de profundidad). Las áreas negras son zonas de superposición o vacío. Fuente: Price, 1981. Mountains and Man.





Algunos mamíferos prehistóricos del Neotrópico. Notungulados: Trigodon, Toxodon, Nesodon, Rynchippus; Litopterna: Thoatherium, Diadiaphorus; Macrauchenidae: Macrauchenia; Didelphidae: Marmosa; Glyptodontidae: Glyptodon, Doedicurus; Megatheriidae: Megatherium. Marmosa es el único sobreviviente actual.

Fuente: Simpson, 1968

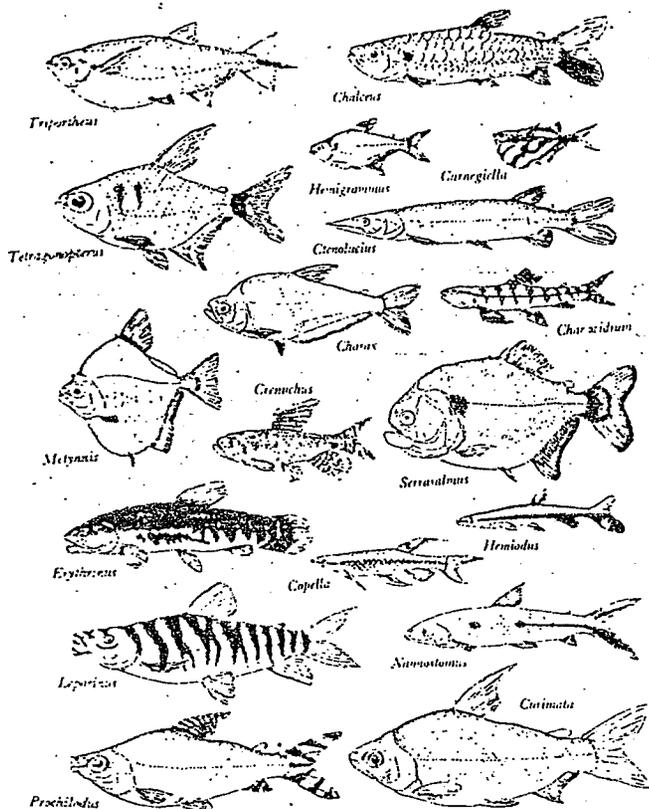
mayor, tanto a nivel de familias como de géneros. La necesidad de un clima tropical lluvioso limita sin duda su dispersión. Solamente los Crotalinae y algunos Colubridae se pueden considerar invasores exitosos desde el Neártico.

En los anfibios es muy difícil reconocer el origen de las especies actuales. Aparte de algunos géneros cosmopolitas como *Bufo*, *Rana* e *Hyla* existen pocas relaciones entre los continentes. Los Gymnophiona (anfibios sin patas) se restringen a la parte sur, mientras que los Urodela (salamandras) se encuentran casi ausentes del Neotrópico. Se pueden encontrar en cambio muchas relaciones filogenéticas con el continente africano. Del mismo modo que los reptiles y los anfibios, los peces neotropicales son muy característicos y muestran un endemismo importante. No se encuentran apariencias de un intercambio de fauna piscícola con el Neártico y, como en los otros dos grupos, las relaciones son más estrechas con el continente africano.

En los invertebrados ocurre una situación similar, con excepción de las especies dotadas de una gran motilidad y de un comportamiento ecológico que asegure una dispersión rápida. Algunas arañas, escorpiones e insectos han penetrado en el Neártico a partir del continente sudamericano. Otras especies de distribución amplia son los insectos acuáticos como los odonatos, efemerópteros, tricópteros y dípteros, que pueden sobrevivir inviernos fríos en estado de reposo (huevo o pupa) y encuentran en el verano condiciones similares a las tropicales. Como un ejemplo sirven los quironómidos que se encuentran desde el norte de Estados Unidos hasta el sur del Brasil y parte de Argentina (Fittkau, 1969).

Las relaciones filogenéticas más antiguas se deben buscar entre las regiones Neotrópica y Etiópica por un lado, y entre el Neotrópico y la región de Australia y Nueva Zelanda por el otro. Pero mientras que en África los centros de dispersión principales parecen encontrarse en las sabanas, en Sudamérica la mayor diversidad de especies y grupos se encuentra en las selvas tropicales, desde donde parecen haber invadido los otros biótopos. Para encontrar el origen de las relaciones africanas, hay que remontarse hasta el Mesozoico. Las relaciones faunísticas entre África y América del Sur se encuentran en animales que pertenecen al trópico húmedo, especialmente en los grupos de agua dulce como los peces, anfibios, tortugas, moluscos e insectos acuáticos. Un buen ejemplo se puede encontrar en los peces que pertenecen a las familias Characidae y Cichlidae, incluyendo similitud hasta en sus parásitos (Gery, 1969).

Las relaciones entre la región oceánica (Australia y Nueva Zelanda) y la región patagónica del continente americano se observa para muchos grupos de anfibios y reptiles (Cei, 1979) así como para los invertebrados, especialmente insectos, y para la flora. Se debe postular la existencia de conexiones antiguas entre África, Sudamérica, Antártica, Madagascar, India y Australia en un solo continente jurásico llamado Gondwana (ver capítulo



Algunas especies representativas de Characoidea. Estos peces muestran una estrecha relación con especies africanas, a pesar de la gran radiación adaptativa que han sufrido en la cuenca del Amazonas.

Fuente: Gery, 1968.

anterior). Pero también se acepta la posibilidad de contactos más recientes a través de un continente antártico, más vasto y menos frío que el actual.

2.2. Distribución geográfica de la fauna boliviana.

La división actual del continente sudamericano en la gran masa montañosa de los Andes y las extensas planicies orientales, determina a grandes rasgos la distribución de la fauna del continente. Existen diferencias radicales tanto en la flora como en la fauna de estas dos grandes regiones, que se pueden entender no sólo por las diferencias ecológicas sino por la historia de su distribución, estrechamente ligada con la historia de la formación del continente. Las descripciones que siguen son tomadas en su mayor parte de Mann (1968), actualizando los conocimientos en base a informaciones provenientes del Centro de Datos para la Conservación (1987, 1988 y comunicaciones personales) y de la colección boliviana de fauna (Forno y Mercado, com. pers.) y las listas de mamíferos y aves de Anderson (1985), Van Remsen (1982) y Van Remsen y Traylor (1989) respectivamente.

Región altoandina y de la puna.

Muchos de los animales característicos de la región altoandina se encuentran también en el piso altitudinal de la puna, haciendo muy difícil el trazar un límite exacto entre estas dos regiones, razón por la cual se presentan en conjunto.

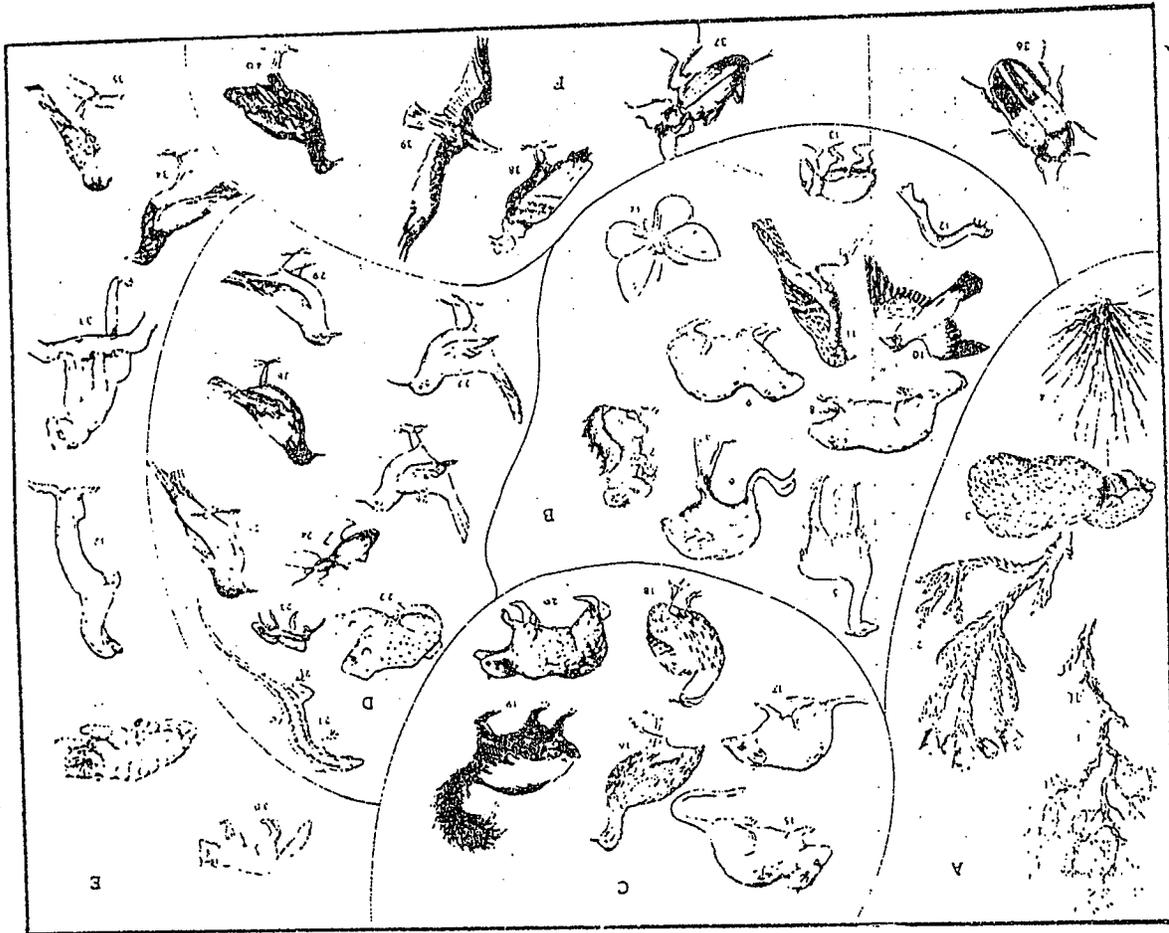
Los animales que viven en la alta montaña muestran varias adaptaciones a las condiciones peculiares de altura. Una de las más importantes es el protegerse de las condiciones extremas de temperatura dentro del suelo o bajo piedras. Algunos animales cavan sus madrigueras o buscan su comida dentro del suelo. Entre los roedores más característicos que cavan madrigueras tenemos a *Ctenomys*, el tuco-tuco o tojo. La poca profundidad y la pedregosidad del suelo son sin embargo limitantes para la fauna endogea, que muestra por esto una dominancia de la mesofauna, como las arañas, coleópteros como los curculiónidos, tenebriónidos y carábidos, y hormigas. Generalmente estos animales abandonan sus lugares subterráneos solamente cuando las condiciones climáticas son muy favorables (Mann, 1968). Bajo las piedras podemos encontrar muchos insectos y ratones, ranas (*Pleurodema*) y lagartijas del género *Liolaemus*. Cerca de las paredes rocosas, la vizcacha de altura (*Lagidium viscacia*) busca el calor acumulado por las rocas. El comportamiento de asolearse se encuentra en muchas especies, desde mariposas (Forno, 1988) hasta lagartijas. Otra adaptación al frío que presentan muchos vertebrados es una densa cubierta de pelos o plumas, a menudo de color oscuro. Los

invertebrados tienen a menudo un color negro que posiblemente los protege de la fuerte radiación ultravioleta y concentra el calor en sus cuerpos. Algunas especies hibernan (principalmente murciélagos como *Histiotus montanus* y *Lasiurus cinereus*), mientras que otras prefieren migrar hacia lugares menos fríos durante el invierno (por ejemplo, *Hippocamelus antisensis*, la taruca, *Desmodus rotundus*, el vampiro y los flamencos *Phoenicoparrus* y *Phoenicoparrus*). El frío parece disminuir la velocidad de desarrollo de los animales poikilotermos, es decir aquellos animales cuya temperatura interna varía con la temperatura del ambiente, de manera que ciertos insectos, que en lugares más bajos tienen dos o tres generaciones al año, tienen sólo una en la altura o incluso necesitan dos años para completar su desarrollo. También se ha observado que algunos géneros de hábitos nocturnos adoptan en la altura una actividad diurna (las polillas de las familias Noctuidae, Geometridae, y el ave *Nycticeorax*). La mayoría de los animales tienen una dieta poco restringida y aun los insectívoros se alimentan de frutos, granos y hojas tiernas cuando tienen la oportunidad de hacerlo, aprovechando así al máximo los pocos recursos disponibles.

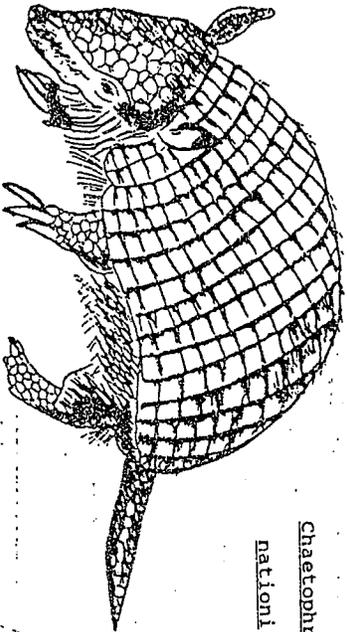
Las grandes extensiones del altiplano han determinado, además de las adaptaciones al frío ya mencionadas, la especialización de animales corredores, con cuello y patas largas y cuerpo esbelto en el caso de los mamíferos, y con patas fuertes y alas cortas o vestigiales en las aves. Por ejemplo podemos mencionar los camélidos sudamericanos (vicuña: *Vicugna vicugna*, llama: *Lama glama* y alpaca: *Lama pacos*), los gatos salvajes como *Felis iacobita* y *Felis concolor*, y las aves corredoras como las perdices *Nothoprocta ornata* y *N. pentlandii*, el tinamú o keu andino *Tinamotis pentlandii* y el suri *Pterocnemia pennata*.

Organización del ecosistema andino, según Mann, 1969 (modificado).

- A. Productores. 1. *Adesmia*. 2. *Lepidophyllum*. 3. *Azorella*. 4. *Festuca*. 5. *Herbivores*. 6. *Pterocnemia pennata*. 7. *Chinchilla*. 8. *Ctenomys*. 9. *Calea*. 10. *Metricopelia aymara*. 11. *Phrygillus*. 12. *Geometridae*. 13. *Curculionidae*. 14. *Colias*. C. *Omnivores*. 15. *Phyllotis*. 16. *Nothoprocta ornata*. 17. *Akodon*. 18. *Tinamotis*. 19. *Conepatus*. 20. *Tremarctos ornatus*. D. *Carnívoros de primer orden*. 21. *Liolaeus*. 22. *Bufo spinulosus*. 23. *Salticidae*. 24. *Carabidae*. 25. *Muscisaxicola rufivertex*. 26. *Asthenes modesta*. 27. *Upucerthia andicola*. 28. *Lessonia rufa*. 29. *Agrionnis montana*. D. *Carnívoros de segundo orden*. 30. *Canis culpeus*. 31. *Felis iacobita*. 32. *Galictis cuja*. 33. *Felis concolor*. 34. *Phalco boenus*. 35. *Falco sparverius*. E. *Carroñeros*. 36. *Dermestidae*. 37. *Tenebrionidae*. 38. *Vultur gryphus*. 39. *Cathartes aura*. 40. *Coragyps atratus*.



Entre la fauna característica de la región altoandina, pero que también se encuentra en la puna, se debe mencionar el zorrino Conobatus chinga rex, la vicuña, un gran número de roedores que pertenecen a los géneros Octodontomys, Ctenomys, Abrocoma, la vizcachita de altura Lagidium viscacia, los cuiSES o Microcavia niata, Cavia aperea y Galea musteloides. Entre los nectarívoros podemos mencionar las mariposas de los géneros Colias, Tatochila e Ymamea, que son comunes a las dos regiones, y el abejorro Bombus, que en cambio no llega a grandes alturas. Muchas especies animales de la puna son insectívoras; además de los insectos depredadores y las arañas se puede mencionar en esta categoría los anfibios Telmatobius, Bufo y Gastroteca; las lagartijas Liolaemus ssp.; las perdicas y muchas otras aves; el quirquincho Chaetophractus nationi y un gran número de ratones. Entre los depredadores que se alimentan de otros animales pequeños tenemos el puma Felis concolor, el zorro Canis culpaeus andinus y rapaces como el halcón común, Falco sparverius y la maría, Phalacrocorax megalopterus. También son importantes en el ecosistema los carroñeros como el condor Vultur gryphus, además de Cathartes aura y Coragyps atratus.



Chaetophractus
nationi

La gran cantidad de lagunas y lagos de altura se caracteriza por la presencia de una fauna propia, entre la cual destacan los flamencos (Phoenicoparrus andinus, P. Jamesi, Phoenicopaterus chilensis), varios patos y gansos (Anas y Chloa-plaga), zambullidores (Podiceps) y otras aves acuáticas, además de una fauna endémica de peces que pertenecen al género Orestias (Karachis) y en menor medida al género Tichomyxerus (mauri).

La puna es un lugar muy intervenido por el hombre y que soporta poblaciones densas desde tiempos remotos; por esta razón queda poco de la fauna original de la región. Entre las especies desaparecidas tenemos que mencionar a la chinchilla (Chinchilla brevicaudata); otras especies se encuentran al borde de la extinción, como la taruca (Hippocamelus antisensis), el quirquincho (Chaetophractus nationi) y el suri (Pterocemia pennata). Entre los animales en peligro de extinción en la región altoan-

dina se deben mencionar el condor (Vultur gryphus), la gallareta cornuda, Fulica cornuta y los flamencos Phoenicoparrus y Phoenicopaterus. La vicuña ha recuperado en parte sus poblaciones gracias a algunas medidas de protección, pero su estado es todavía poco satisfactorio.

Región de los valles secos.

Esta región, muy intervenida por el hombre, muestra aspectos de transición entre la fauna andina por un lado, y las faunas amazónica o chaqueña por otro, siendo predominante la influencia de esta última región (Foster, 1951). Entre los mamíferos se encuentran la vizcachita de la pampa Lagostomus maximus, el cuy Galea musteloides, el zorro andino Canis culpaeus andinus y el gato andino Felis jacobita. Los reptiles y anfibios se encuentran representados por los géneros Liolaemus, Hyla y Bufo. Una de las características es la presencia de una gran cantidad de loros, algunos de los cuales pueden ser plagas agrícolas de los cultivos de maíz, como Ará rubrogenys (paraba frente roja, una especie endémica para Bolivia), Myopsitta monachus (cata), Aratinga acuticaudata (cotorra cabeza azul), Aratinga mltrala (cotorra chajnuiri), Amazona tucumana (loro alisero) y Amazona aestiva. En las zonas altas de los valles y serranías interandinas se encuentra el lorito Bolborhynchus aymara. Una especie común en las partes bajas de esta región es el hornero Furnarius rufus, que se encuentra igualmente en las sabanas del oriente, además de una cantidad importante de colibríes o picaríes (Trochilidae).

Región de los Yungas.

Si bien en los Yungas hay predominancia de especies amazónicas, en las zonas altas de los valles húmedos existe mayor influencia de la región andina. Los Yungas se consideran por eso como una zona de transición, donde se manifiesta incluso una influencia chaqueña, sobre todo en los lugares intervenidos por el hombre. Entre las especies de origen andino tenemos el oso de anteojos o jucumari, Tremarctos ornatus. Entre los mamíferos característicos de origen amazónico, encontramos los primates Cebus albifrons y C. abella, el armadillo Euphractus, el hornaguero Tamandua tetradactyla, el lobito de río Lutra longicaudis y el guazú (Mazama). Entre los mamíferos pequeños se encuentran Sylvilagus brasiliensis, el tapití o conejo y algunas especies de roedores de los géneros Oryzomys y Neacomys. Hay una gran abundancia de murciélagos de los géneros Artibeus, Myotis, Tadarida y Molossus. Es también frecuente la comadreja o carachupa Didelphis marsupialis. En cuanto a aves, la zona se caracteriza por la presencia de una multitud de loros, parabas y cotorras que se alimentan básicamente de fruta. Otras aves son la pava pintada Penelope jacquacu, el tucán Ramphastus toco y el

gallito de las rocas *Pipicola peruviana*. Los reptiles pertenecen mayormente a las familias *Boidae*, *Colubridae* e *Iguanidae*. Los anfibios están representados por los géneros *Hyla*, *Gastrotheca* y *Bufo*. En general, la fauna se encuentra muy empobrecida y alterada por la influencia humana.

En los lugares poco intervenidos de las regiones más bajas de los Yungas y los bosques húmedos de la faja subandina se pueden encontrar todavía el pato de las torrenteras *Merganetta americana*, el mutun de copete *Crax unicornis*, la pava *Penelope jacquacu* y los patos arborícolas *Dendrocygna viduata* y *Silbon D. autumnalis*. Existen en estas zonas, además de los mamíferos ya mencionados, el jochi pintado *Cuniculus paca* y el jochi colorado *Dasyprocta punctata*, el carpincho o capiguara *Hydrochoeris hydrochaeris*, el jaguar *Felis onca*, los monos *Saimiri sciureus* y *Aotus trivirgatus* y los chanchos de monte (*Tayassu tajacu* y *Tayassu albicollis*). Varias de estas especies necesitan una protección urgente, porque se encuentran frente a fuertes presiones de colonización agrícola, que causan la destrucción de sus habitats naturales, además de verse sometidas a la caza o la captura viva como mascotas. La ecología de estas especies originarias del bosque húmedo tropical se describe en el punto siguiente.

Región de los bosques tropicales húmedos.

En todos los grupos animales, se ha desarrollado una multitud de formas de vida adaptadas a los ecosistemas de selva húmeda, atestigüando la antigüedad y existencia continua de los bosques. Muchas especies poseen largas colas prehensiles o se encuentran adaptadas en otra forma a la vida en los árboles. Podemos mencionar por ejemplo monos como *Alouatta caraya*, el manechi negro, *Saimiri sciureus*, el chichilo y *Ateles paniscus*, el marimono, osos hormigueros como el tamandua, *Tamandua tetradactyla* y el osito oro, *Cyclopes didactylus catellus*, el pereroso o perico ligero *Bradypus variegatus* y varios marsupiales. La disposición estratificada de las copas de los árboles también influye sobre la distribución de los animales, que se especializan para ocupar diferentes alturas. La poca distancia de visión que se tiene en la selva ha restado importancia a las señales visuales, y muchas especies se comunican más bien por vocalización. Pocos animales viven en el suelo, alimentándose generalmente de frutos caídos o de raíces; entre los más comunes tenemos a los chanchos de monte *Tayassu albicollis* y *Tayassu tajacu*, el jochi colorado *Dasyprocta punctata* y el jochi pintado *Cuniculus paca*, además de saprotafos como las hormigas. En los troncos de los árboles se encuentran insectos que se alimentan de madera (termitas y cerambicidos).

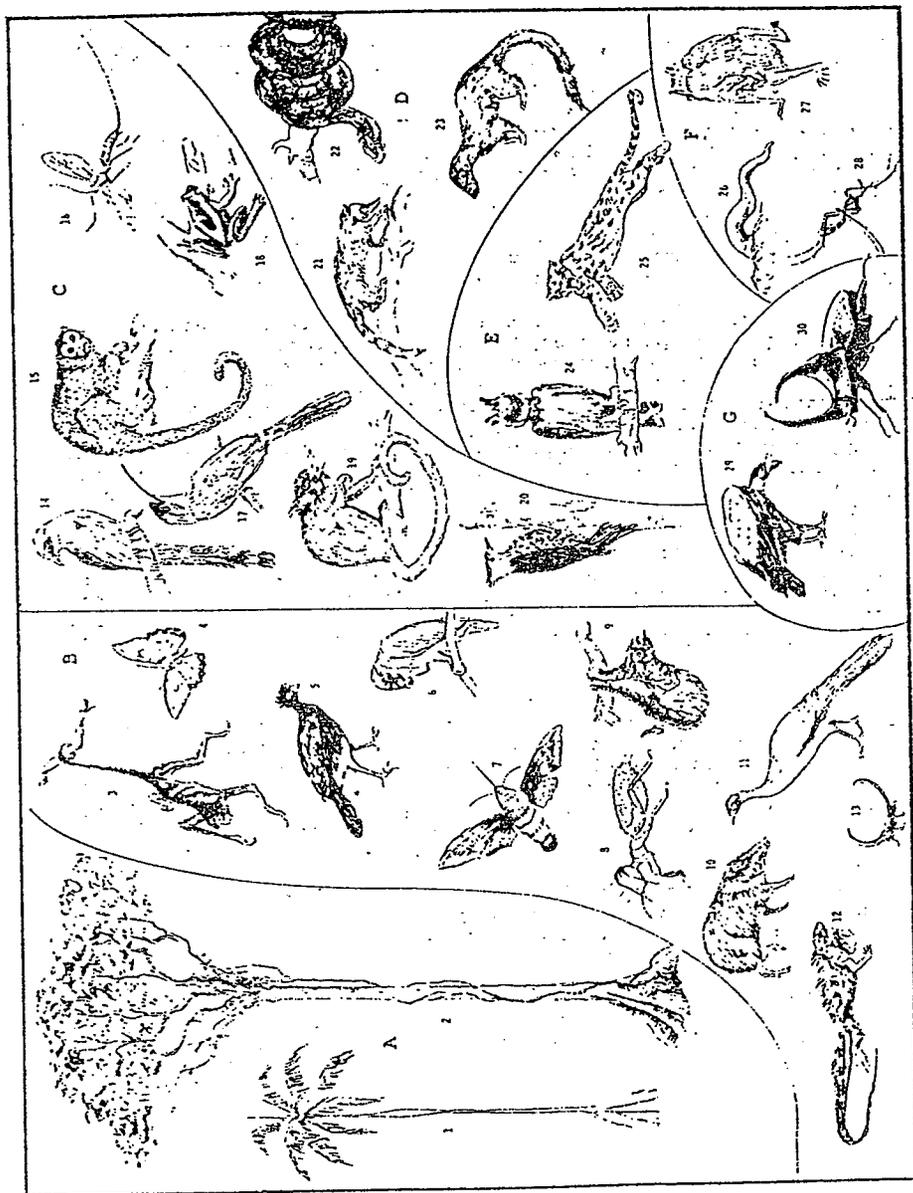
Muchos murciélagos como *Artibeus* y *Carollia* y aves como los tucanes y parabas se han adaptado a comer frutas de los árboles. Reptiles y anfibios viven en diferentes estratos de la vegetación; por ejemplo algunas ranas buscan las reservas de agua

de lluvia que se mantienen en las hojas para el desarrollo de los renacuajos. Las flores tienen generalmente cáliz profundos a los cuales se han adaptado colibríes, abejas, mariposas y murciélagos desarrollando largos picos o lenguas en una estrecha especialización, de tal manera que a menudo solamente una especie animal puede realizar la polinización de cada especie vegetal. *Glossophaga soricina* y *Anoura geoffroyi* son ejemplos de murciélagos adaptados para usar este recurso, gracias a poseer una lengua larga y acanalada. Las temperaturas altas y constantes permiten una rápida reproducción con ciclos cortos de desarrollo, que han causado una diversificación ecológica y evolutiva extrema y un alto grado de coadaptación entre diferentes especies.

Muchos animales llevan una vida semi-acuática (murciélagos y aves pescadoras) o se han adaptado completamente a vivir en el extenso sistema de ríos de la cuenca amazónica, como el lobito de río (*Mullia longicauda*), la sicuri (*Eunectes murinus*), las tortugas o petas del género *Podocnemis*, sin olvidar los jagartos y caimanes, *Caiman latirostris*, *C. yacare* y *Melano-suchus niger*. Algunas especies son incluso de origen marino, como las rayas y el bufeo (*Inia geoffrensis*). Los mamíferos grandes como el tapir (*Tapirus terrestris*) y el carpincho o capiguara (*Hydrochoeris hydrochaeris*) también son semi-acuáticos, probablemente como una manera de combatir el calor excesivo. Otros mamíferos grandes encontrados en la región son el jaguar (*Felis onca*) y el ciervo de los pantanos (*Odocoileus dichotomus*), que se encuentran también en las sabanas. Entre los peces de gran importancia económica se deben destacar por ejemplo el pacú (*Colossoma macropomum*) y el surubi (*Phractocephalus hemiliopterus*).

La gran abundancia de recursos vegetales disponibles durante todo el año hace que muchos grupos que normalmente serían carnívoros en otros ecosistemas, se alimenten de materia vegetal. Ejemplos son los murciélagos que se alimentan de frutos o néctar, o iguanas que se alimentan de hojas, además de aves de las familias *Tyrannidae* o *Formicariidae* y larvas de *Cicindelidae* y ádultos de *Carabidae* o todos los cuales son normalmente insectívoros. Entre los consumidores secundarios, las hormigas son predominantes. Varias avispas parásitarias, entre ellas las *Ichneumonidae*, parasitan larvas de insectos ocultas dentro de la madera. Otros insectívoros son algunos murciélagos y marsupiales; la mayor parte de los monos son omnívoros, alimentándose básicamente de insectos y frutos. Otro omnívoro común es la comadreja (*Didelphis marsupialis*). Los consumidores de tercer y cuarto orden pueden ser serpientes y otros reptiles grandes, aves rapaces y carnívoros grandes como el jaguar. Los carroñeros y detritívoros son más bien escasos, teniendo un rol más importante en la descomposición la abundante microflora de hongos y bacterias.

* La región del escudo brasileño se distingue poco de la región de bosque tropical lluvioso descrita. Especies típicas que se encuentran allí, pero no son exclusivas, son *Pirangones*

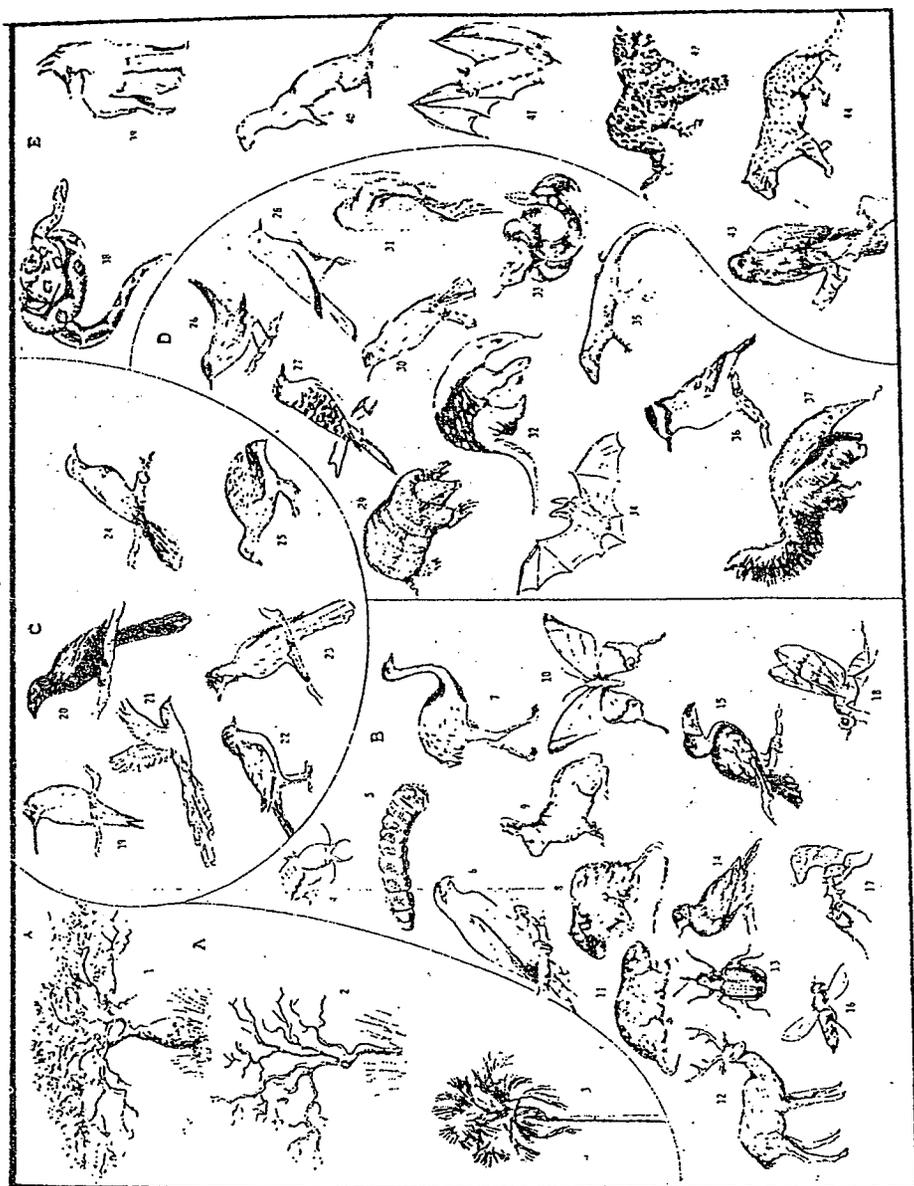


maximus (pejichi), Felis onca (jaguar), Tayassu albirostris (chancho de tropa) y T. tajacu (taitetú), Odocoileus dichotomus (ciervo de los pantanos) y Lutra longicaudis (lobito de río). Entre las aves Cairina moschata, el pato negro, es un ave doméstica en muchas regiones de Sudamérica; en Bolivia se encuentra en estado silvestre. Otras aves que tienen un alto valor como recursos silvestres son por ejemplo Penelope jacquacu (la pava) y varios Psittacidae como Ara araurana (paraba azul-amarillo), Ara macao (guacamayo bandera o paraba roja) y Pionus menstruus. Los reptiles Melanosuchus niger (caimán negro), Caiman vacare (lagarto), Caiman latirostris (overo), y Podocnemis expansa (tataruga) necesitan también un sistema de protección y manejo, por la enorme presión de caza o recolección de huevos que se ejerce sobre ellos. *

La región de Pando se caracteriza por su mayor riqueza de especies, particularmente de primates, notablemente Saguinus imperator, el mono bigotudo y Callimico goeldii, el mono negro o calimico, además de los monos antes mencionados. Una especie que se encuentra casi restringida a esta región como resultado de la caza es la londra, Pteronura brasiliensis; otras especies importantes son el ave rapaz Harpia harpya y los caimanes Melanosuchus niger y Paleosuchus, las tortugas de río Podocnemis expansa y P. unifilis, y la sicuri Eunectes murinus.

Organización del ecosistema de bosques tropicales húmedos, según Mann, 1969 (modificado).

A. Productores: 1. Palmeras. 2. Arbol emergente con lianas y epifitas. B. Herbivoros: 3. Ateles. 4. Dione. 5. Crax. 6. Amazona. 7. Macroglossa. 8. Termitidae. 9. Potus flavus. 10. Tayassu. 11. Ortalis guttata. 12. Iguana. 13. Membracidae. C. Carnivoros de primer orden: 14. Momotus momota. 15. Aotus. 16. Ichneumonidae. 17. Galbula. 18. Hylidae. 19. Callimico. 20. Campophilus. D. Carnivoros de segundo orden: 21. Nasua. 22. Boa. 23. Eyra barbara. E. Carnivoros de tercer orden: 24. Harpia harpyja. 25. Felis onca. F. Carnivoros de cuarto orden: 26. Hirudinea. 27. Desmodus rotundus. 28. Culicidae. G. Carroñeros: 29. Sarcoramphus papa. 30. Scarabeidae.



Región de sabanas.

Las sabanas próximas a los bosques húmedos se caracterizan por su relativa pobreza en especies animales, si las comparamos con la selva lluviosa. Parece difícil decidir si la falta de especies se debe a la formación reciente de estos ecosistemas o a la práctica de quemadas constantes, producidas artificialmente por el hombre. Algunos autores postulan en efecto la formación inducida de las sabanas por el uso continuo y milenar del fuego. Otro factor adverso a la fauna es la inundación anual de buena parte de la sabana, que obliga a los animales a refugiarse en las islas de bosque de mayor altura. Fittkau (1969) postula un retroceso natural de los bosques, debido a un proceso de desecación gradual de las zonas tropicales. Encuentra un argumento para esta teoría en las faunas relictuales del Chaco, región que, a pesar de encontrarse cubierta de matorrales secos y espinosos, posee básicamente las mismas especies que los bosques húmedos, aunque en números más reducidos.

Las principales adaptaciones de la fauna al ecosistema de sabana consisten en un desarrollo de la habilidad cursora, la importancia de la visión lejana, que aumenta el uso de señales visuales y coloraciones disruptivas (es decir, que cambian la apariencia del animal, para que éste escape de la visión de sus enemigos) o aposemáticas (colores vivos que anuncian que el animal es venenoso o no comestible). Otra característica es la adaptación de muchos herbívoros al alto contenido de celulosa de

Organización del ecosistema de sabana, según Mann, 1969 (modificado).

A. Productores. 1. *Chorisia*. 2. *Tecoma*. 3. *Mauritia*. B. Herbívoros. 4. *Termitidae*. 5. *Cerambycidae* (larvas). 6. *Psittacidae*. 7. *Rhea americana*. 8. *Oryzomys*. 9. *Sylvilagus*. 10. *Lepidoptera*. 11. *Ctenomys*. 12. *Odocoileus dichotomus*. 13. *Curculionidae*. 14. *Colombina picui*. 15. *Rhamphastos*. 16. *Sirphidae*. 17. *Myrmicidae*. 18. *Tripetidae*. C. Omnívoros. 19. *Colibri*. 20. *Crotophaga ani*. 21. *Piaya cayana*. 22. *Turdus*. 23. *Penelope* sp. 24. *Mimus*. 25. *Nothura*. D. Carnívoros de primer orden. 26. *Troglodytes*. 27. *Thamnophilus*. 28. *Xolmis irupero*. 29. *Tolypeutes*. 30. *Cacicus*. 31. *Colaptes campestris*. 32. *Tamandua tetradactyla*. 33. *Crotalus*. 34. *Histioteus*. 35. *Ameiva*. 36. *Pitangus*. 37. *Myrmecophaga*. E. Carnívoros de segundo orden. 38. *Boa*. 39. *Chrysocyon brachyurus*. 40. *Mustela frenata*. 41. *Phyllostomus*. 42. *Felis onca*. 43. *Rhostramus sociabilis*. 44. *Felis geoffroyi*.

los pastos, que forman la principal fuente de alimentación. De allí la importancia de las hormigas cortadoras de hojas, que mantienen colonias de hongos para transformar la celulosa en material digerible para ellas. Las hormigas del género *Atta* se encuentran únicamente en las islas de bosque y los bosques ribereños, probablemente como una adaptación para evitar las inundaciones, o porque se mantienen en ecosistemas parecidos al bosque del cual se originan. También son muy frecuentes los termitas, que construyen nidos elevados que sobresalen del nivel de aguas altas. Entre los herbívoros más importantes se pueden mencionar los ciervos *Mazama* spp. (urina, guazu), *Odocoileus dichotomus* (ciervo de los pantanos) y *O. bezoarticus* (gama), todos los cuales se encuentran en peligro de extinción. De las raíces y tubérculos se alimentan muchos insectos y varias especies de *Stenomys*, mientras que los frutos de las islas de bosque son comidos por los tucanes (*Ramphastos toco*) y una gran cantidad de murciélagos (*Phyllostominae*, *Glossophaginae*, *Carollinae*, *Sturninae* y *Stenodermatinae*). Los granos sirven de alimento a *Fringillidae* y *Columbiformes*. Entre las especies omnívoras tenemos el pío o ñandú, *Rhea americana*, *Tinamiformes*: *Tinamus*, *Crypturellus*, *Rhynchotus*, *Nothura*; *Trochilidae* que se alimentan tanto de néctar como de insectos; *Cuculiformes*: *Crotophaga*, *Playa*; y *Passeriformes* como los *Mimidae* y *Turdidae*. Durante las inundaciones estacionales de las sabanas, los animales usan también los recursos acuáticos, principalmente moluscos, insectos acuáticos y peces, que pueden constituir una parte importante de su dieta. En el nivel trófico de los carnívoros encontramos insectos como hormigas y mantis religiosas; aves como *Troglodytidae*, *Icteridae*, *Tyrannidae*, *Furnariidae*, *Caprimulgiformes*, *Piciformes* y *Coraciiformes* como *Cyanocorax*. Entre los mamíferos encontramos los hormigueros *Tamandua* y *Myrmecophaga*, el tatú *Dasybus novemcinctus* y el pejiichi *Priodontes maximus*, además de muchos quiropteros; también son importantes los anfibios y reptiles. Los consumidores terciarios comprenden aves rapaces, el *Tupinambis* o peni y varias serpientes, además de mamíferos como los *Mustelidae*, *Canidae* y *Felidae*. *Vampyrum spectrum* es un depredador que se alimenta de murciélagos más pequeños, aves y reptiles o anfibios, mientras que *Noctilio* es un murciélago pescador. Los vampiros (*Desmodus rotundus*) y otros parásitos como *Nematocera* (mosquitos) y *Heteroptera* pueden ser considerados como consumidores cuaternarios. Entre los carroñeros debemos mencionar al condor de los trópicos, *Sarcorampus papa*.

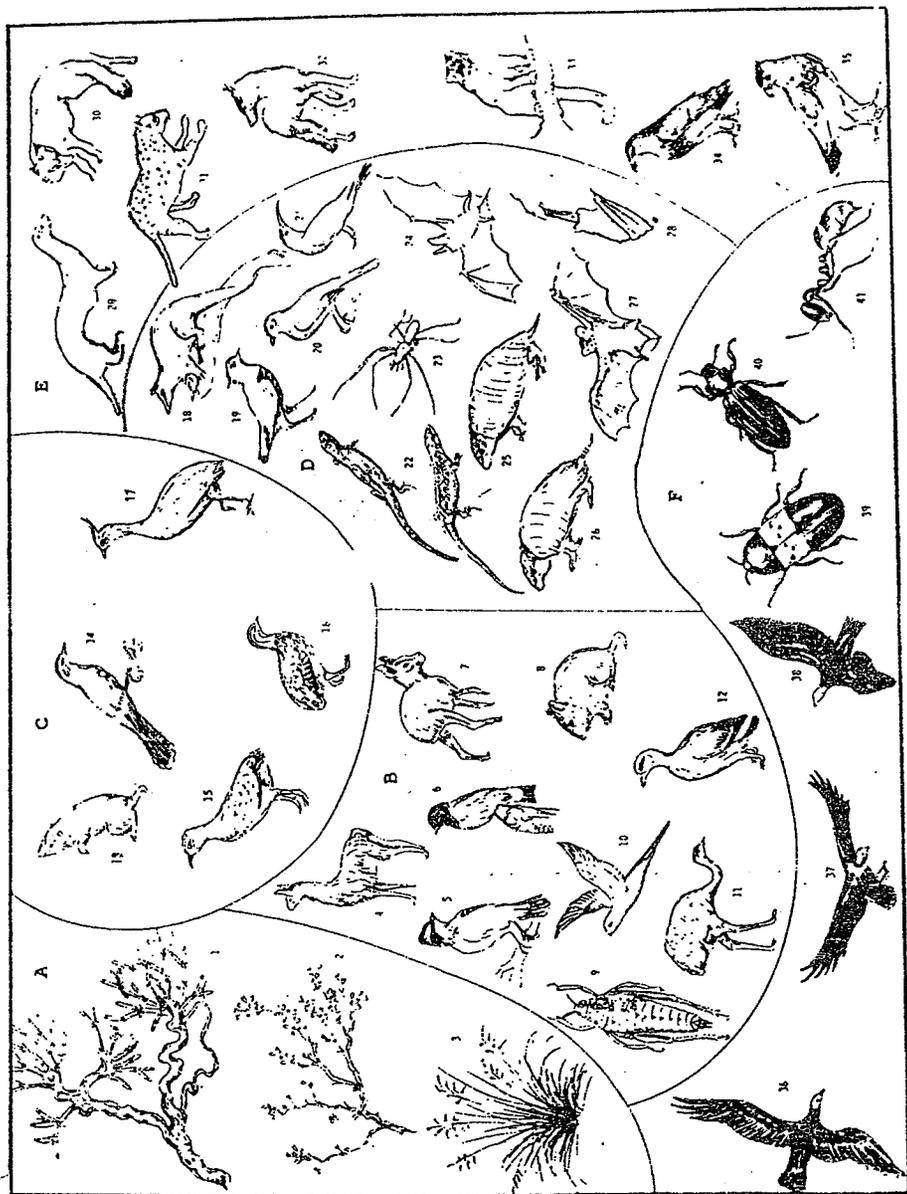
Región del Chaco y monte espinoso.

En esta zona, como se mencionó anteriormente, existe una influencia importante de la fauna amazónica. Sin embargo, el lobo de crin (*Chrysocyon brachyurus*), el ciervo de los pantanos (*Odocoileus dichotomus*) y el pío o ñandú (*Rhea americana*) que caracterizan estas áreas más áridas deben tener otro origen, no selvático, probablemente representado por los Andes del Sur y la Patagonia. Muchas especies endémicas de esta zona muestran

relaciones con la fauna de Australia y Nueva Zelanda: esto concierne en particular a los marsupiales y los roedores *Caviidae*, *Chinchillidae*, *Octodontidae*, *Ctenomyidae* y *Abrocomidae*, para mencionar solamente los mamíferos, lo que sugiere un contacto relativamente reciente. Otro tanto ocurre con aves, lagartijas y anfibios.

Un segundo grupo deriva de las especies de bosque húmedo tropical, especialmente aves, reptiles e insectos. El tercer grupo de animales tiene origen neártico y se trasladó a lo largo de las zonas templadas de los Andes, para luego dispersarse en las planicies orientales. A este grupo pertenecen el guanaco *Lama guanicoe*, varios géneros de *Cervidae*, *Mustelidae*, *Felidae* y el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). Un cierto número de aves se transportó también a lo largo del eje montañoso formado por la Cordillera. Lo mismo parece ser cierto para muchas mariposas y escarabajos (*Scarabaeidae*).

En este ecosistema, los consumidores de primer orden (herbívoros) son representados por el guanaco y el ciervo de los pantanos (*Odocoileus dichotomus*), los chanchos (*Tavassu albicollis*, *T. talacu*) y *Catagonus wagneri*, el pecari chaqueño, el pío o ñandú *Rhea americana*, la pava *Penelope jacquacu*, varios loros (*Ara auricollis*, *Amazona tucumana*, *Anodorhynchus hyacinthinus*, esta última especie con distribución restringida al gran pantanal) y muchas especies pequeñas y medianas de mamíferos (*Ctenomys* spp., *Polichotis patagonicum*), así como muchas aves (Columbiformes: *Chloephaga picta*, *C. poliocephala*, *Fringillidae*: *Phrygillus*, *Zonotrichia*, *Spinus*) y los saltamontes o grillos (*Trimerotropis*, *Dicrophis*, *Bufo* spp.). Entre los omnívoros se puede mencionar los roedores *Abrothrix*, *Orzomys* y *Notiomys*, las aves *Tinamotis ingoufi*, *Nothura darwini*, *Eudromia elegans* y *Mimus patagonicus*. Los consumidores secundarios comprenden muchos quiropteros, además del marsupial *Marmosa elegans*, el pejiichi *Priodontes maximus*, el quirquincho grande *Chaetophractus villosus* y aves como *Geositta*, *Upucerthia*, *Cinclodes*, etc., lagartijas como *Leiosaurus*, los penis *Tupinambis tequixin* y *T. rufescens* y



atrópodos como los Coccinellidae, Carabidae y Araneae. En los ríos se encuentran *Lutra longicaudis* y el overo *Caiman latirostris*. Los consumidores terciarios comprenden *Chrysocyon brachyurus*, el borochi, el gato salvaje *Felis geoffroyi*, el puma *Felis concolor*, y las aves rapaces *Milvago*, *Falco*, *Phalcoboenus* y *Buteo*. Los carroñeros son *Vultur gryphus*, *Coragyps atratus*, *Cathartes aura*, además de Tenebrionidae, Dermestidae y hormigas.

Las serranías chiquitanas tienen mucha afinidad con la región recién descrita, debiéndose mencionar en forma particular la presencia de *Odocoileus dichotomus* y *Lutra longicaudis*.

Organización del ecosistema del Chaco, según Mann, 1969 (modificado).

A. Productores. 1. Ephedra. 2. Larrea. 3. Festuca. B. Herbívoros. 4. Lama guanicoe. 5. Zonotrichia. 6. Carduelis uropygialis. 7. Dolichotis. 8. Reithrodon. 9. Bufo acris. 10. Myopsitta. 11. Rhea americana. 12. Chloephaga. C. Omnívoros. 13. Notiomys. 14. Mimus patagonicus. 15. Nothura darwini. 16. Tinamotis pentlandii. 17. Eudromia elegans. D. Carnívoros de primer orden. 18. Didelphis marsupialis. 19. Vanellus. 20. Agriornis. 21. Upucerthia. 22. Liolaemus. 23. Tomopisthes. 24. Histiopus. 25. Zaedius pichyi. 26. Chaetophractus villosus. 27. Lasiurus cinereus. 28. Myotis nigricans. E. Carnívoros de segundo orden. 29. Lutra longicaudis. 30. Dusicyon griseus. 31. Felis geoffroyi. 32. Canis thous. 33. Felis concolor. 34. Buteo. 35. Polyborus plancus. F. Carroñeros. 36. Coragyps atratus. 37. Vultur gryphus. 38. Cathartes aura. 39. Dermestidae. 40. Tenebrionidae. 41. Formicidae.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, S., 1983.
Mammals of Bolivia. Section 2, Orders other than bats and rodents. American Museum of Natural History, New York, (no publicado).
- ANDERSON, S., 1983.
Mammals of Bolivia. Section 3, Rodents. American Museum of Natural History, New York, (no publicado).
- ANDERSON, S., 1985.
Lista preliminar de mamíferos de Bolivia. Cuadernos Academia Nacional de Ciencias, Museo Nacional de Historia Natural, La Paz, 65: 5-16.
- ANDERSON, S., 1988.
Mammals of Beni, Bolivia. The American Museum of Natural History (no publicado).
- ANDERSON, S., BEJARANO, G. y YONEDA, M., 1983.
Distribución de los mamíferos en Bolivia. Manuscrito, M.N.H.N. La Paz.
- BAKER, H.G., 1970.
Evolution in the tropics. *Biotropica* 12 (2):101-111.
- BLAKE, E.R., 1977.
Manual of neotropical birds. Chicago Univ. Publ. 674 p.
- BOND, J. y MEYER DE SCHAUENSEE, R., 1942.
The birds of Bolivia. Part I. Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, 94: 307-391.
- BOND, J. y MEYER DE SCHAUENSEE, R., 1943.
The birds of Bolivia. Part II. Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, 95: 167-221.
- BROWN, A.D. y RUMIZ, D.I., 1985.
Distribución y conservación de los primates en Bolivia. Anales 2do Congreso Brasileiro de Primatología, Campinas. p. 336-363.
- CABOT, J., SERRANO, P., IBANEZ, C. y BRAZA, F., 1986.
Lista preliminar de aves y mamíferos de la reserva "Estación Biológica del Beni". *Ecología en Bolivia*, 8, 37-44.
- CABREPA, A.L. y YEPES, J., 1960.
Mamíferos sudamericanos. Vol I y II. ED. EDIAR, Buenos Aires.

- CABRERA, A.L. y WILLINK, A., 1973.
Biogeografía de América Latina. Serie de Biología, Monografía 13, OEA.
- CAMPOS, L.C., 1987.
Distribution, human impact and conservation of flamingos in the High Andes of Bolivia. Tesis, University of Florida.
- CARDOZO, A., 1988.
Áreas protegidas de Bolivia. Asociación Pro Defensa de la Naturaleza, La Paz.
- CARDOZO, A. y LOPEZ, J. 1980.
Situación de la vicuña en Bolivia. *INFOL*, La Paz, Estudios especializados, 11, 23-28.
- CDC, 1987.
Lista de elementos especiales. No publicado. Centro de Datos para la Conservación, La Paz.
- CDC (Ed.), 1988.
Diagnóstico de la diversidad biológica de Bolivia. Centro de Datos para la Conservación, Herbario Nacional de Bolivia, Museo Nacional de Historia Natural, Centro Interdisciplinario de Estudios Comunitarios, Conservación Internacional: Informe para USAID, La Paz, 2 vol.
- CEI, J.M., 1979.
The patagonian herpetofauna. En: Duellmann (Ed.) The south-american herpetofauna: its origen, evolution and dispersal.
- DE ALBA, G.A. y RUBINOFF, R.W. (Eds), 1982.
Evolución en los trópicos. Smithsonian Tropical Research Institute, Editorial Universitaria, Panamá.
- DUELLMAN, W.E. (Ed.), 1979.
The South American herpetofauna: its origen, evolution and dispersal. Museum of Natural History, University of Kansas, Lawrence, USA.
- FITTKAU, E.J., 1969.
The Fauna of South America. En Fittkau et al.: Biogeography and Ecology in South America. Vol.2, 624-658. W. Junk, La Haya.
- FITTKAU, E.J., ILLIES, J., KLINGE, H., SCHWABE, G.H. y SIOLI, H. (eds.) 1968 - 1969.
Biogeography and Ecology in South America. 2 volúmenes. W. Junk, La Haya.

- FUGLER, C.M., 1984.
Tercera contribución a la fauna herpetológica del oriente boliviano. *Ecología en Bolivia*, 5, 63-72.
- FUGLER, C.M., 1986.
La estructura de una comunidad herpetológica en las selvas benianas en la estación de sequía. *Ecología en Bolivia*, 8, 1-20.
- FUGLER, C.M., 1986.
Una lista preliminar de las serpientes de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 8, 45-72.
- GERY, J. 1969.
The fresh-water fishes of South America. En: Fittkau et al.: *Biogeography and ecology in South America*. Vol.2, W. Junk, La Haya.
- GILBERT, L.E. y RAVEN, P.H. (Eds), 1980.
Coevolution of animals and plants. Univ. of Texas Press, Austin, Texas.
- GLANTZ, W.E., 1982.
Adaptive zones of neotropical mammals: a comparison of some temperate and tropical patterns. En: Mares, M.A. y Genoways, H.H. (Eds), *Mammalian biology in South America*. Special Publication Series, Vol. 6. Pymatuning Laboratory of Ecology, University of Pittsburgh, 95-110.
- HANAGARTH, W. y RIBERA, M. O., 1985.
Los Ciconiidae de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 6, 73-81.
- ILTIS, A., RISACHER, F. y SERVANT-VILDARY, S., 1984.
Contribution a l'étude hydrobiologique des lacs salés du sud de l'altiplano bolivien. *Rev. hydrobiol. tropicale*, 17, 259-273.
- KEMPF MERCADO, N., 1975.
Ofidios de Bolivia. Academia Nacional de Ciencias, La Paz.
- KEMPF MERCADO, N., 1985.
Aves de Bolivia. Ed. Gisbert, La Paz.
- KING, W.B., 1981.
Endangered birds of the world. The ICBP Red Data Book. ICBP - IUCN, Washington.
- LAUZANNE, L. y LOUBENS, G., 1985.
Peces del río Mamoré. ORSTOM - CORDEBENI - UTB.

- LAUZANNE, L., LOUBENS, G. y LE GUENNEC, B., 1986.
Lista de los peces de la Cuenca Amazónica boliviana. ORSTOM -CORDEBENI - UTB.
- LOWE, y CONNELL, 1975.
Fish communities in tropical freshwaters. Longman, Londres.
- MANN, G., 1965.
Recursos animales en Sudamérica andina. UNESCO, Paris.
- MANN, G., 1968.
Die Oekosysteme suedamerikas. En Fittkau et al.: *Biogeography and Ecology in South America*, vol.1, 171-229. Den Haag, W. Junk NV.
- MARCONI, M. y HANAGARTH, W., 1987.
Fauna Silvestre. En: Brockmann -(Ed.), *Perfil ambiental de Bolivia*. La Paz.
- MEYER de SCHAUENSEE, R., 1970.
A guide to the birds of South America. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- MONTES DE OCA, I., 1982.
Geografía y recursos naturales de Bolivia. Imprenta Superel, La Paz.
- MUELLER, P., 1979.
Introducción a la zoogeografía. Ed. Blume, Serie Ecología, Barcelona.
- NIETHAMMER, G., 1953.
Zur Vogelwelt Boliviens. *Bonner Zool. Beitr. Sonderdruck*, 195-303.
- REMSEN, J.V., 1986.
Aves de una localidad en la sabana húmeda del norte de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 8, 21-35.
- REMSEN, J.V. y BEJARANO, G., 1982.
Checklist of the birds of Bolivia. Manuscrito no publicado.
- REMSEN, J.V. y PARKER, T.A., 1983.
Contribution of river-created habitats to Amazonian bird species richness. *Biotropica*, 15, 223-231.
- REMSEN, J.V. y RIDGELY, R.S., 1980.
Additions to the avifauna of Bolivia. *Condor*, 82: 69-75.

2. TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE INVENTARIOS FORESTALES DE RECONOCIMIENTO

2.1. Requerimientos Básicos

A continuación se establecen los requerimientos mínimos para la planificación y ejecución de inventarios forestales de reconocimiento a ser utilizados en la elaboración de planes de manejo.

En estos requisitos mínimos se establece una metodología de diseño de inventario, sin embargo para la aplicación de otros tipos de diseño, se deberá solicitar **ANTICIPADAMENTE** la autorización respectiva a la Superintendencia Forestal. Como parte de esta solicitud se deberá presentar en detalle los parámetros técnicos del inventario forestal (diseño, intensidad de muestreo, número, tamaño y forma de las unidades de muestreo) así como el responsable del inventario y el cronograma de las actividades.

2.2. Responsable del Trabajo

El responsable de la planificación y ejecución del inventario forestal y de la emisión del informe, debe ser profesional o técnico forestal registrado en el colegio profesional respectivo y acreditado por la Superintendencia Forestal de acuerdo a lo establecido en el Artículo 27 de la Ley 1700 y los parágrafos VI al XII del Artículo 69 del Reglamento de la mencionada Ley.

2.3. Requerimientos Técnicos para la Ejecución de Inventarios Forestales de Reconocimiento

2.3.1 Definición del Area a inventariar

1. El área a inventariar es toda el área cubierta de bosque en la propiedad o concesión.
2. Si se ha realizado una estratificación (que es opcional), se podrá realizar el inventario solamente en los estratos de interés para el propietario o concesionario.

2.3.2 Diseño de Muestreo para el inventario de productos maderables

1. Debe realizarse un muestreo sistemático de parcelas de tamaño fijo distribuidas sobre el área a inventariar. En el diseño se debe considerar los siguientes criterios:

2. Las intensidades mínimas del muestreo se fijan en función de la superficie total del área a inventariar como se indica en el Cuadro No. 1. Las intensidades mínimas para valores de superficies no indicadas se obtienen mediante interpolación.
3. El diseño de muestreo debe basarse en un número mínimo de 100 unidades de muestreo sistemáticamente distribuidas sobre el área a inventariar. La distribución sistemática significa que las unidades de muestreo se ubican a distancias iguales a lo largo de líneas paralelas equidistantes de inventario que atraviesan el área a inventariar. Si se inventarían áreas contiguas, se pueden tratar como una sola unidad y distribuir las 100 unidades en el total de la superficie. Si las áreas no son contiguas se deben tratar como dos inventarios separados.
4. El espaciamiento máximo entre las líneas de inventario se calcula por la fórmula

$$e=1,5* \sqrt{A/100}$$

donde:

e = espaciamiento máximo en km.

A = Area a inventariar en km²

5. Basado en la intensidad mínima de muestreo y el número mínimo de parcelas (100) se ha calculado el tamaño referencial de la unidad de muestreo (Ver cuadro 1). Estos tamaños podrán ajustarse en el diseño por aspectos prácticos (por ejemplo redondeando el tamaño de la unidad de muestreo al décimo de hectárea más cercana) siempre y cuando se mantenga la intensidad de muestreo y el número mínimo de 100 unidades. Ver nota #1 del Anexo #5.
6. Los árboles con DAP igual o mayor a 20 y menor a 40 cm deben ser registrados por lo menos en una mitad de cada una de las unidades de muestreo.
7. En cada unidad de muestreo se determinará la especie y abundancia de palmeras con una altura total igual o mayor a 9 metros.
8. En cada unidad de muestreo, los fustales (árboles con DAP igual o mayor a 10 cm y menor a 20 cm) deben ser registrados en una subparcela con tamaño mínimo de 5% de la parcela principal. Se registrará la misma información como en el caso de los árboles con DAP igual o mayor a 20 cm. Para los fustales es opcional la estimación de altura y calidad de fuste. En estas subparcelas también se determinará la especie y abundancia de las palmeras con una altura total igual o mayor a 6 metros y menor a 9 metros. Ver nota #2 del Anexo #5.
9. Si en la ejecución del inventario se encuentran parcelas o partes de parcelas en áreas sin bosque que no fueron previamente identificadas y delimitadas en el mapa, estas parcelas o partes de parcelas deben ser levantadas aunque no tengan árboles. Se aceptará que el inventario tenga hasta 10% de estas parcelas "cero". Si se tiene más de un 10% de parcelas "cero", se deberán instalar otras parcelas en áreas con bosque de tal manera que el número de parcelas "cero" no sea mayor a 10% y se corregirá debidamente la delimitación de la superficie boscosa en los Mapas #1 y #2.

10. De las 100 unidades planificadas, por razones justificadas (por ejemplo, inaccesibilidad), se aceptará que hasta 10% no sean levantadas. Consecuentemente, la intensidad de muestreo podrá bajar en esta misma proporción de parcelas no levantadas.
11. Si es necesario reponer parcelas para no sobrepasar el 10% de parcelas “cero” y/o 10% de parcelas no levantadas, la reposición deberá hacerse objetivamente. Las parcelas de reposición serán claramente ubicadas en el mapa de diseño de muestreo (Mapa #2).
12. Las unidades de muestreo en el campo deben ser distribuidas de acuerdo al diseño de muestreo en el Mapa #2 y deben ser marcadas visiblemente con el número correlativo correspondiente. La marcación debe realizarse con una estaca al inicio y otra al final de la parcela, y pintando los dos árboles (DAP mayor a 20 cm) más cercanos a la estaca. Además, deberán marcarse con placas numeradas los 5 primeros y los 5 últimos árboles de cada parcela. La placa numerada se colocará lo más cerca del suelo en el lado NORTE del árbol.

Cuadro 1. Intensidades mínimas y tamaño de las unidades de muestreo

Superficie total del área a inventariar (ha)	Intensidad mínima (%)		Tamaño de las unidades de muestreo (ha)
	DAP igual o mayor a 40 cm.	DAP igual o mayor a 20 y menor a 40 cm	
200	5.0	2.5	0.1
500	2.0	1.0	0.1
1000	1.5	0.75	0.15
2000	1.2	0.6	0.25
5000	0.8	.4	0.4
10000	.5	.25	0.5
15000	.35	.175	0.5
20000	.28	.14	0.55
25000	.24	.12	0.6
30000	.22	.11	0.65
50000	.2	.1	1.0
100000	.15	.075	1.5
200000	.1	.05	2.0

2.4 Mapa de Inventarios diseño del muestreo (Mapa # 2)

1. En base al Mapa Forestal (Mapa # 1) confeccionado conforme a lo especificado en el ANEXO #2 del presente documento, se elabora un mapa de diseño de muestreo con la distribución de las unidades de muestreo (Mapa #2).
2. En el Mapa # 2 se deben marcar claramente las líneas de inventario y las unidades de muestreo con sus números correspondientes. También en este mapa se debe delimitar y marcar todas las áreas que no fueron incluidas en el inventario. Ver nota #3 del Anexo #5.

2.5 Información mínima a levantar en el campo

1. Con la finalidad de uniformizar y estandarizar los datos a levantar en el campo, cada formulario de campo deberá llevar como mínimo la siguiente información:
 - a) Nombre de la concesión/propiedad
 - b) Número de la línea
 - c) Número de la parcela (unidad de muestreo)
 - d) Fecha
 - e) Nombre del enumerador
2. El siguiente listado de los apartados 2.5.1 y 2.5.2 se define la información mínima que debe recopilarse de las parcelas y los árboles:

2.5.1 Información sobre las condiciones promedio de la parcela:

Densidad de sotobosque	<ol style="list-style-type: none">1. Sotobosque ralo o ausente2. Sotobosque medio denso3. Sotobosque denso
Drenaje	<ol style="list-style-type: none">1. Tierra firme, bien drenada2. Tierra fangosa, se puede trabajar con maquinaria durante la temporada seca3. Tierra muy fangosa, difícil trabajar con maquinaria durante todo el año
Topografía / relieve	<ol style="list-style-type: none">1. Terreno plano2. Terreno levemente ondulado3. Terreno ondulado4. Terreno escarpado

2.5.2 Información mínima sobre los árboles / fustales:

Número de árbol	
Nombre común	
Diámetro o circunferencia a la altura del pecho (DAP / CAP) ¹	Se registra en cm
Altura del fuste (opcional para fustales)	Se registra en metros.
Altura total (opcional para árboles y para fustales)	Se registra en metros.
Clase de calidad (opcional para fustales)	1. Fuste recto, sin defectos 2. Fuste regular, con algunos defectos 3. Fuste de mala calidad con defectos que impiden su utilización económica

2.6 Procesamiento de Datos

El procesamiento de los datos incluye como mínimo los siguientes pasos:

- a) Los resultados del inventario se presentarán individualmente para cada tipo de bosque, en el caso de que exista una estratificación forestal.
- b) Los resultados se resumirán en cuadros de distribución diamétrica para cada especie, grupos de especies y el total de las especies utilizando clases diamétricas de 10 centímetros de ancho.
- c) Las especies deben agruparse al menos en dos grupos: (1) Las especies incluidas en la canasta de especies y (2) las demás especies. Ver nota #4 del Anexo #5.
- d) Las variables analizadas serán: número de individuos (N), área basal en m² (AB) y volumen en m³ (V).
- e) Se considerarán los DMC establecidos en estas normas y el plan de manejo.
- f) Las existencias de madera por hectárea se indicarán especificando el volumen potencial, actual y total por especie y clase de calidad. Si la prescripción silvicultural se basa en diámetros mínimos de corta (DMC) el volumen potencial incluirá aquellos árboles con DAP menor al DMC y el volumen actual incluirá los árboles disponibles para cortar o los que tienen un DAP mayor o igual al DMC.
- g) Se presentarán los resultados de la abundancia de la regeneración natural de fustales por especie y grupos de especies y referidos a la unidad de superficie.
- h) Se cubicará con el factor de forma de 0.65 según Heinsdijk, mientras no existan tablas volumétricas adecuadas.
- i) Las tablas de resultados deben como mínimo contener la información como en los ejemplos en los Cuadros 3 a 5. El formato de estos cuadros es opcional, pero la información que contienen es de carácter obligatorio.

¹ En el diseño del inventario se determinará si se medirá CAP o DAP, y durante todo el inventario se mantendrá la medición del CAP o DAP según haya sido seleccionado.

- j) Se calculará el error de muestreo sobre los totales de los parámetros abundancia, área basal y volumen con un nivel de confianza de 95% y expresados como porcentaje del promedio.

2.7 Presentación de información de campo

1. Al presentarse el plan de manejo, se deberá adjuntar copia de los formularios de campo ordenados, legibles y numerados de acuerdo a la numeración establecida en el terreno y en concordancia con el mapa de diseño de muestreo (Mapa #2).
2. Hay que presentar uno o varios disquetes que contengan los archivos digitales (formato base de datos o de hoja electrónica) con la información recolectada. Esta base de datos digital debe incluir número de línea de inventario, estrato (si corresponde), número de parcela, número de árbol, especie, DAP, calidad, altura de fuste.
3. Se deberán presentar cuadros que contengan como mínimo la información incluida en los siguientes cuadros.

SECCION I
SUGERENCIAS NORMATIVAS Y TECNICAS SOBRE INVENTARIOS
FORESTALES DE RECONOCIMIENTO

A. Normas Administrativas

A1. Aspectos Generales

- Los ejecutores de los inventarios forestales deben ser profesionales forestales o empresas consultoras forestales debidamente acreditadas por el CDF.
- La acreditación debe basarse en los siguientes requisitos :
 - Contar con el Título Académico y en Provisión Nacional en Ingeniería Forestal o Ingeniería Agronómica con especialidad en el ramo.
 - Estar inscrito en su respectivo grupo colegiado.
 - No tener cuenta pendiente o procesos administrativos en el CDF.
 - No trabajar a tiempo completo en una institución pública o privada, a no ser que a través de una consultora, donde la empresa asuma la responsabilidad.
 - Para cada trabajo de inventario forestal, el CDF exigirá su registro en la SIF.
 - El CDF, para garantizar un buen control en fiscalización y cumplimiento de los términos de referencia, debe fortalecer la repartición correspondiente logística y técnicamente con personal competente e idóneo.
 - En el CDF debe crearse un centro de información computarizada referido a los inventarios forestales o caso contrario delegarse a otra Institución.

A2. Aspectos Específicos

- El CDF debe poner en vigencia los términos de referencia y la reglamentación correspondiente, con respaldo legal y jurídico para su aplicación en un tiempo no mayor a 90 días.
- La repartición encargada de la revisión, evaluación y aprobación de inventarios forestales debe estar a cargo de un profesional forestal titulado, especializado en el ramo.
- Debe definirse un costo mínimo de inventarios forestales en función del tamaño del área y tipo de bosque.
- La fotointerpretación como el procesamiento de datos deben ser realizados de acuerdo a los términos de referencia propuestos.
- La verificación de los datos de campo debe hacerse en base a los formularios adjuntados a lo informes del inventario.

B. Sugerencias Técnicas

B1. Estudios Forestales

El CDF debe asumir la responsabilidad de la realización de estudios por administración directa en coordinación de la UAGRM y ejecutarlos a corto y mediano plazo a objeto de disponer de la información para los casos enunciados a continuación.

- Estudios sobre los diámetros mínimos de corte por especie y tipo de bosque.
- Estudios sobre el crecimiento volumétrico anual por especie y por tipo de bosque.

B2. Cursos de Capacitación y Entrenamiento

- Organizar a la brevedad posible un curso sobre toma de datos de campo y uso de formularios propuestos por los términos de referencia.
- Organizar un curso sobre capacitación para materos.
- Organizar un curso sobre la metodología de la fotointerpretación a emplearse según los términos de referencia.

DIAMETROS MINIMOS DE CORTE EN ACTUAL VIGENCIA

Nombre Vulgar	Nombre Científico	DMC (cm)*
Mara	<i>Swietenia macrophylla</i>	60
Nogal	<i>Juglans sp.</i>	60
Tarara	<i>Centrolobium sp.</i>	60
Roble	<i>Amburana cearensis</i>	60
Pino de monte	<i>Podocarpus sp.</i>	60
Cedro	<i>Cedrela sp.</i>	60
Serebó	<i>Schizolobium parahyba</i>	60
Ochoó	<i>Hura crepitans</i>	60
Bibosi	<i>Ficus sp.</i>	60
Mapajo	<i>Ceiba pentandra</i>	60
Almendrillo	<i>Dipteryx odorata</i>	60
Copaibo	<i>Copaifera sp.</i>	60
Paquió	<i>Hymenaea courbaril</i>	60
Palo María	<i>Calophyllum brasiliense</i>	60
Yesquero	<i>Cariniana estrellensis</i>	60
Cambará	<i>Erismia uncinatum</i>	60
Mara macho	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	60
Sangre de toro	<i>Virola sp.</i>	50
Picana negra	<i>Cordia trichotoma</i>	50
Plumero	<i>Vochysia lanceolata</i>	50
Tajibo	<i>Tabebuia sp.</i>	50
Trompillo	<i>Guarea trichilioides</i>	50
Picana blanca	<i>Cordia alliodora</i>	50
Laurel	<i>Nectandra sp.</i>	45
Quebracho colorado	<i>Schinopsis quebracho colorado</i>	45
Soto	<i>Schinopsis sp.</i>	45
Cacha	<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	45
Curupaú	<i>Anadenanthera colubrina</i>	45
Jichituriqui	<i>Aspidosperma sp.</i>	45
Amarillo	<i>Aspidosperma cf. australe</i>	45
Verdolago	<i>Terminalia amazonia</i>	45
Guayabochi	<i>Calycohyllum spruceanum</i>	45
Cuchi	<i>Astronium urundeuva</i>	45
Tipa blanca	<i>Tipuana tipu</i>	45
Tipa colorada	<i>Pterogyne nitens</i>	45
Quina blanca	<i>Lonchocarpus lilloi</i>	45
Palo blanco	<i>Calycohyllum multiflorum</i>	45
Caqui	<i>Diospyros cf. paralea</i>	40
Moradillo	<i>Machaerium sp.</i>	40
Guayacán	<i>Bulnesia sarmientii</i>	40
Jacarandá	<i>Dalbergia sp.</i>	40

* DMC: Diámetro mínimo de corte

Esta lista de diámetros mínimos de corte en actual vigencia será sustituida por las listas respectivas indicadas en los Términos de Referencia para Inventarios de Reconocimiento cuando sean aprobados mediante la resolución ministerial respectiva.

SECCION II

MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA INVENTARIOS FORESTALES DE RECONOCIMIENTO

A. Estratificación del Bosque y Mapeo

El mapeo forestal requiere de mapas base del área, fotografías aéreas y, eventualmente, imágenes recientes de satélite para la delimitación de zonas desmontadas o de colonización.

La estratificación del bosque para fines de manejo forestal (concesiones, comunidades) debe realizarse mediante la fotointerpretación estereoscópica. La escala de las fotografías aéreas debe estar dada en función del tamaño del área estudiada. Esta escala no debe pasar la escala mínima de 1:50.000.

Basándose en el criterio estadístico de la estratificación, cada estrato (tipo de bosque) por sí debe ser lo más homogéneo posible en cuanto al parámetro de interés (volumen por ha), mientras la diferencia entre estratos debe ser pronunciada. En este sentido, es conveniente diferenciar el bosque en estratos de alto, mediano y bajo volumen.

El volumen se refleja en la altura y densidad de los árboles. Estos parámetros son importantes para la estratificación del bosque, junto con otros parámetros (fisiografía) que puedan caracterizar los diferentes tipos de bosque y deben formar parte de una clave bien definida.

En el sentido estadístico no es conveniente definir más de cinco estratos porque la diferencia entre los estratos en este caso ya no sería pronunciada y el número de muestras por estrato no sería suficiente.

El resultado de la estratificación es la tipificación del bosque, que es la parte principal del mapa forestal, junto con los accidentes fisiográficos y la infraestructura del área (mapa base) y zonas recientemente desmontadas (según la información de imágenes de satélite).

El mapa forestal es la base de la planificación del inventario y del manejo forestal. Los puntos claves de la poligonal del área deben ser georeferenciados (uso de GPS) y la escala del mapa debe ser adecuada en relación con la superficie.

B. Diseño de Muestreo para la Vegetación Arbórea (dap 20 cm)

B1. Intensidades Mínimas

Las intensidades mínimas se fijan en función de la superficie total de los estratos forestales, como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Intensidades mínimas y tamaño de las unidades de muestreo para parcelas fijas y para el muestreo goniométrico según Bitterlich

Superficie total de los estratos forestales (ha)	Intensidad mínima (ha)	Tamaño de las unidades de muestreo en el caso de parcelas fijas (ha)	No. de parcelas variables por conglomerado (muestreo goniométrico con FB de 4)
100	8.0	0.08	1
500	2.0	0.1	1
1.000	1.5	0.15	2
2.000	1.2	0.25	3
5.000	0.8	0.4	4
10.000	0.5	0.5	5
15.000	0.35	0.5	5
20.000	0.28	0.55	6
25.000	0.24	0.6	6
30.000	0.22	0.65	7
50.000	0.2	1.0	10
100.000	0.15	1.5	15
200.000	0.1	2.0	20

Las intensidades mínimas para valores de superficies no indicadas se obtienen mediante interpolación.

Las intensidad del muestreo pueden variar en los diferentes estratos según su importancia y valor económico, siempre y cuando se alcance la intensidad mínima en el muestreo total de los estratos forestales.

B2. Unidades de Muestreo

Las unidades de muestreo deben ser parcelas fijas de 10 m ó 20 m de ancho, conglomerados de parcelas fijas (1) o conglomerados de parcelas variables en el caso de un muestreo goniométrico. El número mínimo de unidades de muestreo se fija en 100.

El tamaño de las unidades de muestreo, en el caso de parcelas fijas, está determinado por la intensidad del muestreo y el número total de unidades, según la fórmula:

$$a = \frac{Ai}{100n}$$

Donde:

- a = Tamaño de la unidad de muestreo (ha)
- A = Superficie total de los estratos forestales (ha)
- i = Intensidad del muestreo en porciento
- n = Número total de unidades

- (1) En áreas muy grandes o en zonas de geografía accidentada puede ser conveniente trabajar con conglomerados de parcelas fijas. En áreas de 100.000 ó 200.000 ha, por ejemplo, las unidades de muestreo pueden ser conglomerados de 3 ó 4 parcelas de 0.5 ha respectivamente, las que puede distribirse en forma de una estrella alrededor de un punto central.

En el caso de parcelas fijas, el tamaño de las unidades de muestreo debe definirse con valores redondeados (0.5, 0.15, 0.2, 0.25,....., 2.0 ha).

Para el muestreo goniométrico según Bitterlich, se ha fijado un tamaño promedio de 0.1 ha por parcela variable para un factor basimétrico de 4, que es el factor a utilizarse en bosques tropicales. El tamaño de la unidad de muestreo, en este caso, varía con el número de parcelas variables a levantarse por conglomerado¹.

El Cuadro 1 muestra el tamaño de las unidades, calculado para las intensidades indicadas y basándose en un número de cien unidades de muestreo.

B3. Distribución de las Unidades de Muestreo

Los inventarios deben realizarse en forma sistemática por parcelas o conglomerados equidistantes, distribuidos sobre líneas de levantamiento paralelas equidistantes (generalmente en dirección Este-Oeste o Norte-Sur). De esta manera, los puntos centrales de las unidades están distribuidos en forma de una cuadrícula.

La distancia entre los puntos de la cuadrícula se calcula según la fórmula:

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

Donde:

d = Distancia entre puntos centrales (km)

A = Superficie total de los estratos forestales (km²)

n = Número de unidades de muestreo

Para reducir la cantidad de líneas de levantamiento, se puede aumentar la distancia entre ellas, multiplicando "d" por un factor entre 1 y 1.5 y reducir, al mismo tiempo, la distancia entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas dividiendo "d" con el mismo factor. El trecho sin inventariar entre las unidades de muestreo sobre una línea de levantamiento no debe ser menor al largo de la unidad.

Las distancias entre las líneas de levantamiento y entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas deben ser valores definidos en km y redondeados a la primera decimal. Los valores resultantes son de carácter estimativo y, en caso necesario, deben ser modificados para poder distribuir el número requerido de unidades.

Una vez definidas las distancias anteriormente mencionadas, se distribuye las unidades de muestreo en el mapa forestal, enumerándolas en forma correlativa y tratando de conseguir la mejor forma de cuadrícula para evitar, así, coincidencias de las líneas de levantamiento con ciertos rasgos sistemáticos del terreno (por ejemplo: ríos o cadenas de colinas). Lo último es importante para evitar errores sistemáticos (sesgos).

Pequeñas modificaciones del diseño sistemático puro en la fase de planificación solamente se justifican en zonas de geografía accidentada o para obviar obstáculos insuperables. En este caso, se puede aumentar o disminuir debidamente la distancia entre dos unidades de muestreo sobre una línea de levantamiento.

Si una unidad de muestreo, según el mapa forestal, cae en dos diferentes estratos, es

¹ La distancia entre las parcelas variables dentro de un conglomerado por lo menos debe ser 50 m.

conveniente recorrerla sobre la línea de levantamiento en dirección al estrato que contiene la mayor parte de la unidad.

Si la intensidad de muestreo no es igual en todos los estratos, la distancia entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas de levantamiento debe ser ajustada, de acuerdo a la intensidad de muestreo en cada estrato.

C. Diseño de Muestreo para Fustales y Regeneración Natural

Mientras que en las unidades de muestreo se registran todos los árboles (dap \geq 20 cm), solamente se levanta una submuestra para el registro de los fustales (10 cm \leq dap $<$ 20 cm), latizales (5 cm \leq dap $<$ 10 cm) y brinzales (dap $<$ 5 cm h \geq 1.30 m).

Los fustales, latizales y brinzales deben registrarse en dos subparcelas de 10 m x 10 m, 5 m x 5 m y 2 m x 2 m respectivamente, al principio y al final de las unidades de muestreo. Las subparcelas de 5 m x 5 m y 2 m x 2 m deben estar a una distancia mínima de 2 m de la línea central de la faja.

En el caso de conglomerados de parcelas fijas, las subparcelas para fustales y regeneración natural deben estar situadas al principio y final de una de las parcelas del conglomerado.

D. Formularios de Campo

D1. Formularios para Árboles y Fustales

Los formularios de campo para árboles y fustales (ver Cuadro 2) deben contener datos de encabezamiento consistentes en datos generales (enumerador, fecha) y datos que caracterizan la unidad de muestreo (lugar, estrato, N° de unidad de muestreo).

A continuación se indican los datos de los árboles (se incluye los fustales solamente en las subparcelas de 10 m x 10 m):

•Número de árbol.

La secuencia de los árboles medidos en cada unidad de muestreo debe comenzar con el número 1.

•Nombre común de la especie.

•DAP o CAP (cm).

La utilización del dap o cap debe ser clara y uniformemente definida para todo el inventario. Se mide a la altura del pecho (1.30 m) desde el suelo del lado más alto en caso de pendientes. En caso de deformaciones o aletones, se mide encima de estos.

•Calidad de fuste:

Clase 1: Sano y recto sin ningún signo visible de defectos

Clase 2: Con señales de ataque de hongos, pudrición, heridas, curvatura, crecimiento en espiral u otras deformaciones

Clase 3: Leña

• Altura del fuste (m).

Es la altura desde el suelo hasta el principio de la copa.

•Altura total (m).

Es la altura desde el suelo hasta la punta de la copa.

Nota: Bifurcaciones que ocurren en alturas menores a 1.30 m se consideran como árboles separados.

El último grupo de datos consiste en una caracterización general del sitio (Sotobosque, Relieve, Pendiente, Altitud s.n.m., Drenaje, Cursos de agua, Sucesión ecológica del bosque, Intervención humana, Observaciones).

D2. Formularios para Latizales y Brinzales

Los datos de encabezamiento de los formularios para latizales y brinzales (ver Cuadro 3) deben ser datos generales (Enumerador, Fecha) y datos que caracterizan la unidad de muestreo (Lugar, Estrato, Línea, N° de Unidad de Muestreo). A continuación siguen los datos de la regeneración natural (Nombre común, Número de individuos de latizales y brinzales en la subparcela 1 y en la subparcela 2 y el total de ambas subparcelas).

Al pie del formulario siguen las definiciones de la regeneración natural.

En esta fase, se define el número de brigadas y su composición, la secuencia del trabajo y el desplazamiento local de las brigadas durante la campaña de campo. También, hay que definir la supervisión y control del trabajo.

La ejecución del inventario debe realizarse en base al diseño y la planificación logística. Las unidades de muestreo deben ser distribuidas de acuerdo al diseño en el mapa forestal. La numeración de unidades y la tipificación del bosque en las planillas deben corresponder exactamente a las del mapa forestal.

Solamente se justifican pequeñas modificaciones del diseño en el campo en casos excepcionales, para obviar obstáculos insuperables dentro de una parcela y si esta parte inaccesible de la parcela está cubierta con vegetación forestal. En este caso, se puede aumentar o disminuir debidamente la distancia entre dos parcelas vecinas sobre una línea de levantamiento para evitar el obstáculo.

Si dentro de una parcela aparecen obstáculos sin vegetación forestal (como, por ejemplo, afloramientos rocosos), esta parte inaccesible de la parcela queda sin inventariar. También, si toda la parcela no tiene vegetación alguna, se la debe incluir en el muestreo forestal (asignándole el valor de cero, en este caso especial).

Los casos de obstáculos, como los mencionados anteriormente, deben describirse en las observaciones del formulario correspondiente.

Si los estratos de bosque, según el mapa forestal, dentro de una parcela, no corresponden a la realidad, el estado real, según el criterio del técnico, también debe ser anotado en las observaciones de esta parcela (sin cambiar las definiciones del mapa forestal).

El principio de cada unidad de muestreo debe ser marcado en el bosque mediante una estaca con el número correlativo de la unidad correspondiente.

En terrenos inclinados, en el caso de parcelas fijas, hay que realizar las correcciones necesarias para asegurar que todas las distancias se refieran a la horizontal. Utilizando el relascopio de Bitterlich, esta corrección se realiza en forma automática.

El reconocimiento correcto de las especies es de suma importancia. Los materos deben ser del lugar y buenos conocedores de las especies. En casos de duda, hay que llevar muestras de herbario para su posterior identificación botánica.

Para un buen comienzo y control del trabajo, el supervisor debe realizar varios viajes al campo y dar las instrucciones necesarias a los técnicos involucrados.

F. Procesamiento de Datos

Los formularios de campo deben comprobarse antes de su digitalización. Para la transcripción de datos, es conveniente utilizar un paquete tipo ("standard") para el manejo de bases de datos, como, por ejemplo, el "DBASE". El formato utilizado debe corresponder a los formularios de campo.

La digitalización debe realizar una persona bien entrenada y responsable, que debe trabajar

con la precaución necesaria para evitar, en lo posible, errores de transcripción.

Una vez terminada la transcripción de datos, hay que realizar una verificación intensiva de los mismos. En este sentido, es necesario comprobar la secuencia de registros en cuanto al tipo de bosque, número de unidad de muestreo y número de árbol.

De igual manera, debe realizarse una verificación de plausibilidad para el DAP, la altura del fuste y la altura total, comparando estos valores con los valores máximos del inventario. También, hay que verificar la relación entre DAP y la altura (por ejemplo, no puede ser que el valor de la altura del fuste en metros sobrepase al valor del DAP en cm).

Deben verificarse los errores de transcripción de los nombres comunes de las especies. En el caso de especies con dos nombres, ambos nombres se deben unificar.

Una vez corregidos los datos, se imprime una lista de todas las especies del inventario, se realiza su agrupación y se define su diámetro de corte en base a criterios técnicos y legales.

La base de datos, una vez verificada y corregida, puede procesarse con programas especiales, elaborados para este fin.

Los resultados deben ser informativos, sin redundancia ni detalles innecesarios, para facilitar la tarea de interpretación.

De acuerdo a esto, los resultados mínimos de la vegetación arbórea deben ser los siguientes:

- Para cada estrato (tipo de bosque) y el total de estratos, debe calcularse tres tipos de planillas.

- El primer tipo de planilla debe contener los valores por ha en función de las clases diamétricas (de 10 cm en 10 cm) y de las especies (ver Cuadro 4).

Las especies deben estar agrupadas de acuerdo a los objetivos del Plan de Manejo. El error admisible en por ciento (calculado al nivel de confianza de 95%) correspondiente debe acompañar a los totales de cada especie y agrupación de especies y a la suma total de las mismas.

- En el primer tipo de planilla, se debe calcular los valores correspondientes a la abundancia, el área basal y el volumen por ha de cada especie, agrupación de especies y del gran total (la suma total). Para el cálculo del volumen se debe utilizar el factor de forma de 0.65 de Heinsdijk, mientras no existan tablas volumétricas adecuadas.

- El segundo tipo de planilla debe mostrar el volumen potencial, actual y total de las especies y agrupaciones de especies por ha, en base a los diámetros mínimos de corte (ver Cuadro 5). Los volúmenes, en este tipo de planilla, deben diferenciarse por calidades.

- El tercer tipo de planilla debe mostrar el volumen total aprovechable por especie y agrupación de especies (ver Cuadro 6). El volumen total aprovechable es el producto del volumen actual de la calidad combinada 1 y 2 de cada especie y la superficie respectiva del estrato o total de estratos. Los valores totales de las agrupaciones de especies y la suma total deben estar acompañados por su estimación mínima confiable (EMC) al nivel

de confianza de 95%.

•Los resultados de la regeneración natural deben presentarse en forma de la abundancia de latizales y brinzales por ha en cada estrato y en el total de estratos (ver Cuadro 7).

G. Informe Final e Interpretación de Resultados

El contenido mínimo del informe final debe basarse en los siguientes puntos:

- Índice.
- Resumen.
- Descripción del área.

Ubicación y superficie, Fisiografía, Clima, Suelos, Vegetación, Tenencia de la tierra, Vías de acceso e infraestructura, Historia del bosque, Grado de extinción de las especies de fauna.

- Descripción del muestreo (parámetros técnicos).
- Resultados y su interpretación.
- Conclusiones y recomendaciones.

• Anexo

Fórmulas estadísticas, valor de "t", tablas volumétricas usadas, mapa forestal con la distribución de las unidades de muestreo

Al informe final deben adjuntarse los formularios llenados de campo.

LISTA DE PARTICIPANTES DEL TALLER TERMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACION DE PLANES DE MANEJO SOSTENIBLE E INVENTARIOS FORESTALES DE RECONOCIMIENTO

Lugar: Gran Hotel Santa Cruz, Santa Cruz de la Sierra 1 de septiembre de 1995

<i>Nombre</i>	<i>Institución</i>
Donato Rojas	UTD-CDF-SC
Freddy Contreras	BOLFOR
Lincoln Quevedo	WWF
Erhard Dauber	CIMAR
Edil Osinaga R.	UTD-CDF-SC
Harold Rivero B.	CRUZ-VERDE

La importancia de la noción espacio-tiempo

Plantear el problema del análisis y la supervisión de la biodiversidad en el bosque implica no sólo fijar los límites de la investigación, sino también situar precisamente la escala del análisis y la frecuencia de las observaciones. La biodiversidad se sitúa en un marco dinámico y evolutivo, su proceso y su composición cambian constantemente por obra de factores naturales y antrópicos. Las sucesiones bióticas y el desarrollo de los suelos, sustento de la vegetación, responden a fenómenos ecológicos complejos que son integraciones de varios procesos biológicos, químicos y físicos que requieren años, y aun siglos a veces, para manifestarse (Jeffers, 1996).

La naturaleza de los indicadores puede variar también según las escalas espaciales y temporales adoptadas. Según los casos, el investigador trata de obtener una información general a nivel regional, nacional o continental, o se limita a zonas seleccionadas (las consideradas como reservas, por ejemplo). En consecuencia, es importante poder disponer de indicadores de biodiversidad normalizados para poder realizar comparaciones tanto en el espacio como en el tiempo.

LOS TIPOS DE INVENTARIOS

En principio los inventarios de gestión (completos o por muestreo) se refieren a superficies determinadas que corresponden a unidades de gestión (plantaciones, parcelas, rodales), mientras que los inventarios nacionales o regionales abarcan extensos territorios analizados a partir de informaciones puntuales (Rondeux 1993; Rondeux *et al.*, 1996).

Es importante considerar si no sería suficiente utilizarlos inventarios forestales existentes para una evaluación de la biodiversidad forestal, ya que la mayor parte de ellos contienen ya elementos que se refieren directamente a ella pero que requerirían medidas y observaciones suplementarias (nuevas variables) y que podrían también, mediante un tratamiento adecuado de las variables ya registradas, proporcionar indicaciones directas o indirectas sobre la diversidad biológica (variables derivadas). Si los inventarios existentes son aprovechables, es esencial hacerlos permanentes en interés del control de la evolución misma de la diversidad a través del tiempo.

Inventarios de gestión

Si se deben considerar la biodiversidad y su control en relación con la gestión forestal sostenible referida a conjuntos constitutivos de rodales forestales, a unidades paisajísticas (Olivier, 1992) o a unidades de gestión (fincas de algunas hectáreas a varias decenas de hectáreas), las características esenciales y los elementos claves que habrá que tener en cuenta, a intervalos regulares, podrían serlos siguientes, como orientaciones referentes a la magnitud de la masa forestal:

- ▣ los diámetros, alturas y características de todos los árboles por encima de un diámetro predeterminado, con objeto de precisar la estructura de la masa forestal;
- ▣ el índice de fertilidad forestal en relación con las condiciones estacionales;
- ▣ los elementos topográficos;
- ▣ los suelos y el sustrato geológico de los bosques, incluida la naturaleza y la profundidad de los humedales;
- ▣ la vegetación en el suelo con referencia particular a toda especie rara o insólita (es también oportuno señalar la presencia de hongos, briofitos, líquenes, etc.);
- ▣ la presencia y la importancia de la regeneración (plántulas o árboles que no han alcanzado todavía un diámetro determinado);

- la naturaleza y la cantidad de toda madera muerta, es decir ramas o troncos secos caídos o en pie o en descomposición dentro del bosque o plantación;
- la influencia humana y la historia del bosque (cultivo, derechos de uso, tala, corta, caza, etc.);
- los ecotonos notables y las especies particularmente asociadas a los eco sistemas en contacto (interfaz bosque-agricultura, bosque-terreno abierto, por ejemplo).

En lo que concierne más particularmente el inventario mismo y sus modalidades, teniendo en cuenta la gran variedad de elementos observables, la metodología propuesta para medir y controlar la biodiversidad se basará en principio en un muestreo en la medida en que es importante proporcionar información sobre la variabilidad espacial y la heterogeneidad en el interior del bosque. Convendría proceder a una estratificación de las unidades de muestreo para tener la seguridad de que las zonas con gran diversidad biológica estén correctamente representadas en la muestra.

Desde un punto de vista más pragmático, deberían realizarse prioritariamente observaciones sobre los puntos siguientes, adaptándolas eventualmente a las condiciones particulares de cada caso:

- la vocación principal del bosque (producción, zonas protegidas, zonas de conservación biológica, silvícola y genética);
- el pasado del bosque (tratamiento silvícola o situación anterior, impacto humano);
- los biotopos notables (viejo bosque inculto, bosque natural, geomorfología particular, formaciones vegetales raras);
- el paisaje (abierto, cerrado, alejado);
- las condiciones sanitarias (contaminación atmosférica, daños de diversos orígenes);
- la flora herbácea, los frutos y los hongos;
- los linderos del bosque (estructura, composición, anchura y longitud);
- otros aspectos particulares (maderas especiales, árboles notables).

En un inventario forestal clásico, las variables relativas al medio se registran sobre todo en función de la influencia que ejercen sobre la productividad forestal (Pelz, 1995), lo que sin embargo no excluye que se utilicen con otro fin. A menudo es posible extraer indicadores de la diversidad estructural de los bosques a partir de informaciones fácilmente disponibles como distribución de los diámetros, distribución de especies de árboles, altura de éstos, caracterización de los niveles de crecimiento, posición social de los árboles, número de árboles vivos y muertos. Las diversas variables relativas a los árboles y a la estructura de los bosques están también en estrecha correlación con los demás componentes del ecosistema forestal: suelo, flora y fauna, lo que justifica que buen número de variables ya registradas en un inventario centrado en los recursos madereros ofrecen perspectivas de utilización más amplias.

Inventarios forestales nacionales y regionales

La mayoría, si no la totalidad, de los inventarios forestales nacionales actuales realizados sobre la base de muestreos en general sistemáticos y a veces multifases tienen por objeto proporcionar informaciones sobre la producción maderera de los bosques y su disponibilidad; por ello, contienen pocos datos sobre la biodiversidad forestal. No obstante, desde hace unos diez años se acentúa progresivamente la tendencia a recoger en inventarios nacionales, en particular cuando son objeto de revisiones metodológicas, informaciones relativas a

las funciones forestales no exclusivamente orientadas a la producción maderera (Lund, 1986). Si algunas variables relativas al medio están ya presentes en estos tipos de inventario, otras pueden deducirse total o parcialmente, mientras que otras necesitan una recolección específica, o incluso requieren metodologías adaptadas (Lund, 1993).

Variables existentes y derivadas

Si se opera con una unidad de muestreo (o rodal de superficie reducida), en los inventarios se recogen variables que son parte integrante de la biodiversidad y que están vinculadas al suelo (profundidad, textura, proporción de grava, humus, etc.), a la vegetación herbácea (plantas indicadoras), a la composición arbórea por capas, al estado sanitario, a los daños.

Con referencia al individuo (árbol), además de la especie, el diámetro, la posición social, puede haber también otras variables, a saber: el origen, el grosor de la corteza, la altura de la copa, el crecimiento en diámetro y en altura, el estado sanitario, la edad.

Nuevas variables

Las nuevas variables que permitan describir la biodiversidad a un nivel de percepción global pueden integrarse con bastante facilidad en un inventario nacional en su versión clásica referente principalmente a la madera (Pelz, 1995). He aquí algunos ejemplos:

- ▣ características de las lindes en sentido amplio (longitud, forma, estructura);
- ▣ tipo de suelo (descripción más detallada), incluidas variables que puedan cambiar con el tiempo;
- ▣ descripción de la vegetación de los estratos herbáceos, de monte bajo (matorrales) y arbóreos;
- ▣ efecto de otros usos del suelo (agricultura);
- ▣ historia del uso de los suelos (pastoreo, agricultura, prácticas especiales);
- ▣ caracterización de pequeños hábitats (manantiales, humedales, de alto valor biológico);
- ▣ cantidad y dimensiones de árboles muertos en pie o caídos y en descomposición y grado de descomposición;
- ▣ árboles notables por su aspecto fenotípico.

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LOS INVENTARIOS

El concepto global de biodiversidad en el bosque y de inventarios forestales debe entenderse desde una perspectiva multi-dimensional que abarque desde la especie hasta la ecozona. Ante todo hay que hacer que estos conceptos sean operacionales, para decidir después lo que es posible medir en el marco de los inventarios y desarrollar como técnicas de medida y de tratamiento de la información para apreciar la biodiversidad.

Métodos de aplicación de los inventarios

Aunque las observaciones y medidas en el suelo sigan siendo las mejores garantías de un inventario de calidad en cuanto a la precisión de las variables registradas, la teledetección espacial (Poso *et al.*, 1995) es un instrumento cada vez más valioso, y en un futuro próximo los captadores aerotransportados deberán mejorar de

manera radical la calidad de la teledetección y ofrecer novísimas fuentes de información. Esta técnica debería encontrar un campo de aplicación muy amplio en la delimitación precisa de biotopos y de conjuntos forestales: por ejemplo, podría servir de base para una *estratificación* a partir de la cual el muestreo en el suelo sería más preciso, garantizando una mejor percepción de los niveles a los que se dirige la diversidad biológica.

Cabe preguntarse si la medida de la biodiversidad forestal puede realizarse simplemente por intermedio de inventarios forestales por muestreo, cuya rigidez relativa no siempre es compatible con una observación más «naturalista» de los ambientes analizados. En apoyo de esta idea viene el interés creciente por evaluar la diversidad biológica a escala del hábitat. En realidad pueden combinarse estos dos enfoques, permitiendo que el inventario cubra de manera uniforme la totalidad de un territorio y ofrezca una representación cartográfica de las variables registradas, mientras que el enfoque selectivo permita, por su parte, un análisis más fino de la diversidad de un medio o hábitat determinado.

En los inventarios corrientes por muestreo, las unidades de muestreo son parcelas de extensión fija o variable, y por lo tanto, se admite que los datos recogidos no reflejan necesariamente las características del bosque. Las zonas en que se recogen los datos relativos a la biodiversidad no deberían limitarse a las superficies de las parcelas, sino que deberían extenderse a las zonas vecinas (como se hace ya para tipificar correctamente la estructura de un bosque, por ejemplo).

Los métodos de inventarios tendrán que tener en cuenta los hábitats y las características del paisaje, bases potenciales de la estratificación. Será necesario igualmente integrar en los inventarios forestales clásicos otras fuentes de información como la cartografía de los ecosistemas y de los biotopos y desarrollar métodos de evaluación compatibles con estas variables.

Como nunca podrá registrarse toda la amplitud de la biodiversidad en programas de dimensión realista, es importante adoptar enfoques indirectos. Se centran éstos en las variables y los hábitats básicos que permiten cuantificar y calificar la biodiversidad (por ejemplo, el estudio de las relaciones entre la estructura del material en pie y las demás especies como la vegetación en el suelo, los insectos, los hongos, los musgos).

Papel de los sistemas de información geográfica

Muchos datos relacionados con la biodiversidad proceden de estudios de sitios específicos, pero no son suficientes en la medida en que es preciso disponer de un conjunto de datos referenciados espacialmente y constitutivos de una muestra equilibrada de una región definida o de un país. Por lo tanto, es importante recoger datos de zonas de muestreo seleccionadas de manera objetiva para que determinen la ordenación espacial y la dinámica de los componentes del ecosistema.

Trátase de indicadores cuantitativos (superficies ocupadas y su evolución, por ejemplo) o cualitativos (estado sanitario, por ejemplo) o socioeconómicos (recurso explotado, infraestructura, tipo de uso de la tierra, por ejemplo); es fundamental presentar la información en función del espacio de manera que sea posible localizar con precisión la distribución de las especies, la fragmentación de ambientes, el tipo de bosque, etc., resituándolos en el contexto de su entorno físico y biológico (Poso *et al.*, 1995).

Las informaciones disponibles sobre la biodiversidad se han de colocar en bases de datos con referencia geográfica, si se quieren recuperar rápidamente con fines cartográficos, analíticos o de construcción de modelos. Deberán integrarse también a otros datos sobre los ambientes, las condiciones socioeconómicas, los tipos de recursos naturales, los riesgos potenciales de degradación, etc. Los sistemas de información geográfica constituyen, a este respecto, las claves de la integración de informaciones en la escala deseada (Jeffers, 1996).

PERSPECTIVAS Y CONCLUSIONES

Un inventario forestal registra habitual o convencionalmente determinadas informaciones a las que se podrían añadir otras relativas a objetivos más amplios de gestión integrada, incluida la biodiversidad. Muchas investigaciones forestales emanan de fundamentos biológicos, aunque tal información no siempre se haya

asociado a la silvicultura y a los inventarios forestales. Es necesario buscar un compromiso entre lo que se aspira a medir y lo que es posible medir con los recursos humanos y materiales disponibles. Si se persigue evaluar a través del tiempo la importancia cuantitativa y cualitativa del material leñoso y en particular la biodiversidad vegetal, está claro que hay que registrar variables específicas en atención a las limitaciones tanto espaciales como temporales. Considerando, por una parte, los objetivos y las modalidades de ejecución de la mayor parte de los inventarios forestales y, por otra parte, la imprecisión relativa actual del concepto de biodiversidad, parece oportuno, para que ésta se tenga más en cuenta en todo acto de gestión forestal, prestar atención a los siguientes elementos de reflexión:

- ▮ muchas informaciones están ya disponibles o pueden derivarse de los datos conocidos;
- ▮ pocos datos nuevos pueden recogerse en lo tocante, por ejemplo, al ecosistema forestal y más particularmente a la distribución y la frecuencia de especies vegetales o de las características estructurales de la vegetación arbórea;
- ▮ los inventarios forestales tradicionales deberían ampliarse integrando en el plano conceptual una metodología apropiada de recopilación de datos relativos a recursos no madereros;
- ▮ es oportuno estudiar las características del territorio objeto de muestreo utilizando los sistemas de información geográfica, antes de iniciar inventarios específicos o nuevos procedimientos de inventario;
- ▮ deben promoverse inventarios procedentes de muestreos multifases, que combinen un análisis de documentos obtenidos por teledetección con operaciones en el suelo;
- ▮ los métodos de inventario propuestos deben incluir el concepto de seguimiento en el tiempo, y por lo tanto también el de permanencia.

Los inventarios por muestreo sistemático con intensidad de sondeo adaptada siguen siendo una base sólida de análisis si se admite que la medida de la biodiversidad se ha alcanzado ya ampliamente, en zonas cubiertas por inventarios nacionales o regionales, mediante observaciones realizadas con arreglo a un sistema estructurado que permita abarcar de forma homogénea la totalidad del territorio.

Es prácticamente imposible definir un método de recogida de datos adaptado a todos los elementos de la biodiversidad. Convendrá restringir los inventarios a un conjunto bien definido de variables y atributos. Por ejemplo, se tomarán como objetivo los árboles o arbustos en lugar de querer observar toda la biodiversidad vegetal. Si, con miras a estimaciones detalladas y más completas, hay que realizar inventarios específicos para muchas variables que traduzcan la importancia cuantitativa y cualitativa de la biodiversidad vegetal, los inventarios clásicos orientados a la estimación de la madera contienen también muchos datos de los que se puede deducir una información que no se limita a los productos madereros (Pelz, 1995). Podrían calcularse, por ejemplo, funciones relativas a la diversidad de las especies y a su evolución en el tiempo.

La fotointerpretación aérea, las observaciones realizadas en el suelo sobre parcelas de muestreo y el análisis de las interfaces de zonas boscosas y no boscosas constituyen tres fuentes esenciales de datos para evaluar las principales características de la diversidad. La fotointerpretación combinada con un muestreo en el suelo permite caracterizar las zonas boscosas (especies, estructuras, fases de desarrollo, ecosistemas particulares), en la medida en que se haya establecido una tipología pertinente, y proporciona informaciones preciosas sobre la fragmentación y la estructuración de la cubierta forestal. Además de estas observaciones globales, también pueden estimarse la altura de los bosques, su densidad, la fase de desarrollo y la proporción de especies en el conjunto. En realidad, estas variables permiten caracterizar la diversidad estructural de los bosques.

Además de las informaciones clásicas que permiten recoger, las unidades de muestreo (parcelas), en sí mismas o en su entorno inmediato, podrían facilitar observaciones o medidas con valor de indicadores de hábitat: vegetación herbácea, cepas, árboles muertos o en descomposición, acumulación de piedras, eriales, fosos, montones de ramas.

El análisis o el inventario de las zonas situadas al borde de los bosques o en contacto con otros tipos de espacios (prados, eriales, medios acuáticos) permite apreciar las condiciones especiales favorables a la vegetación, las aves y los insectos. Dentro de estas zonas de transición entre diferentes elementos del paisaje y distintos hábitats pueden recogerse informaciones no usuales (Brändli *et al.*, 1995), por ejemplo, exposición, trazado, estructura y densidad del lindero forestal, presencia o ausencia de un cinturón de matorrales y su altura, así como de una faja forestal (árboles del borde con determinado diámetro) y su anchura, tipo de vegetación en el lindero, etc. Convendría asociar los principios en que se basa la realización de inventarios nacionales o regionales que utilizan tramas de puntos con los que definen los inventarios de gestión, más orientados al análisis de superficies. Es posible inventariar la biodiversidad en un país analizando de manera pormenorizada las partes del territorio (por ejemplo por cuadrados de un kilómetro de lado) centradas en puntos de muestreo que compongan una trama regular de puntos definidos sobre documentos cartográficos (fotografías aéreas y/o imágenes desde satélite), a partir de los cuales haya podido establecerse una estratificación basada en la naturaleza del uso mismo del espacio forestal (Barrer *et al.*, 1993).

Se requiere una base de datos actualizada periódicamente. A este efecto se han de usar inventarios forestales clásicos enriquecidos con informaciones ecológicas, capaces de responder a numerosas preguntas que requieren la consulta y el cotejo de datos muy diversos (Max *et al.*, 1996; Rondeux, 1994).

Un caso de estudio: evaluación de los recursos madereros en la región valona de Bélgica

Para llevar la contabilidad de los recursos forestales de la parte meridional de Bélgica (región valona) se emprendió en 1994 un inventario (Rondeux y Lecomte, 1996). Este inventario se realiza mediante muestreo sistemático no estratificado basado en cuatro unidades circulares concéntricas (radios de 18,9, 4,5 y 2,25 m) instaladas en lo alto de mallas rectangulares de 1000 x 500 m que cubren la totalidad de la superficie forestal (530 000 ha). La continuidad se aseguró mediante repeticiones de las medidas con una periodicidad de 10 años, recorriéndose cada año la décima parte de la superficie inventariable. En sus comienzos se concibió, como otros inventarios nacionales, para controlar la evolución de los recursos madereros con fines de evaluación económica y para contribuir a perfilar las líneas directrices de una nueva política forestal regional. Los datos registrados respondían pues a estos tipos de preocupaciones y se referían, de manera no exhaustiva, a:

- informaciones generales y administrativas (identificación y localización del punto de muestra, tipo de propiedad);
- medio ambiente de crecimiento: topografía, geología, edafología y fitosociología;
- masas arbóreas: tipo, estructura, calidad, silvicultura, edad;
- principales características dendrométricas: circunferencias a la altura de un hombre y a distintos niveles, alturas totales.

A partir de 1997 se operaron varios ajustes metodológicos destinados a integrar, de la manera más completa posible, la recogida y el tratamiento de los parámetros relativos al desarrollo sostenible y, en particular, a la biodiversidad vegetal entendida en el sentido de la conferencia de Helsinki (Anón., 1996). Se identificaron a este respecto varios tipos de variables, comprobándose después la viabilidad de su recogida. En el marco del inventario propiamente dicho, se identificaron como posibles indicadores los procedentes de observaciones directas, de estimaciones, de deducciones y de mediciones.

En cuanto a los parámetros derivados de observaciones directas relativas a las condiciones generales del medio ambiente, se consideran los siguientes de manera más minuciosa que en la primera versión del inventario:

- clase del punto de muestra (bosque, páramo, erial, zona protegida);
- situación anterior (bosque, agricultura, otra);
- tipo de bosque o de uso (producción, protección, conservación);
- descripción de las propiedades físicas del suelo y del humus;
- región natural y territorios ecológicos (geología, clima);
- topografía (relieve, exposición, pendiente, altitud).

Respecto al arbolado se presta una atención particular a:

- estructura (niveles, distribución de grosores);
- tipo de arbolado (según la proporción de las variedades presentes);
- edad;
- calidad fenotípica de los árboles;
- gestión forestal y huellas visibles de intervenciones (espacio entre plantaciones, tipo y extensión de los claros, avenamiento, zanjas);
- estado sanitario de los árboles (defoliaciones, agresiones de parásitos y otras);
- presencia e importancia de árboles con cavidades;
- tipo e importancia de la regeneración;
- presencia de espacios aclarados o vacíos y linderos (estos últimos pueden ser muy ricos y diversificados en vida vegetal, lo que requiere una adaptación de la metodología de inventario). Según su naturaleza, estas informaciones se extraen de documentos cartográficos o se recogen en las unidades de muestreo y en su entorno inmediato hasta un radio de 30 m a partir del punto de muestreo.

En cuanto a los parámetros derivados de estimaciones, los que se consideran dentro de la parcela circular de una superficie aproximada de 10 acres (18 m de radio) son los siguientes:

- las variables cualitativas relativas a datos botánicos que deben conducir a la determinación de grupos ecológicos o de asociaciones vegetales que expresan tanto riqueza como diversidad específicas;
- los datos de especies madereras clasificadas en tres grupos por su altura.

En cuanto a los parámetros derivados de mediciones, son esencialmente cuantitativos y se determinan en las unidades de muestreo. Se refieren a:

- los grosores (circunferencias a una altura de 1,5 m);
- las alturas de los árboles vivos y muertos en pie;
- los grosores y longitudes de los troncos y ramas caídos.

En cuanto a los parámetros deducidos, resultan ante todo del tratamiento de las variables registradas y se expresan en forma de promedios o valores referidos a una hectárea. Pueden ponerse en relación con la riqueza del hábitat y, en ciertas variables, referirse a árboles tanto vivos como muertos. Podrán calcularse así y someterse a interpretación en atención a la riqueza potencial y a la diversidad de las zonas inventariadas:

- la densidad del arbolado expresada en número de troncos y superficie de tierra por hectárea (magnitud de la cubierta);
- los volúmenes y biomásas de madera recogidos por hectárea (magnitud del material en pie);
- las alturas totales medias y dominantes (estructura vertical);
- las circunferencias media y dominante (fase de desarrollo);
- el índice de productividad (clase de rodal);
- el número de árboles muertos por hectárea;
- el volumen o la cantidad de madera muerta por hectárea y la época de la mortalidad.

A partir de las variables consideradas resulta posible ofrecer en forma de cuadros, incluso de cartografías, síntesis sobre la diversidad de las especies y de los ecosistemas: composición de la flora y distribución geográfica, entre otras cosas. El inventario forestal así enriquecido sirve de apoyo a una importante base de datos que con un tratamiento cuidadoso puede ser de gran valor.

Bibliografía

Anón. 1996. *Conférence ministérielle sur la Protection des Forêts en Europe. Compte-rendu de l'évolution des travaux.* Lisboa, Ministerio de Agricultura, Desarrollo Rural y Pesca, Portugal. 62 pp.

Barr, C.J., Bunce, R.G.H., Clarke, R.T., Fuller, R.M., Furse, M.T., Gillespie, M.K., Groom, G.B., Hallam, C.J., Hornung, M., Howard, D.C. y Ness, M.J. 1993. *Countryside survey 1990.* Main report. Countryside 1990 Series, Vol. 2. Department of the Environment, Reino Unido. 174 pp.

Brändli, U.B., Kaufmann, E. y Stierlin, H.R. 1995. Survey of biodiversity at the forest margin in the second Swiss NFI. *The Monte Verità Conference on Forest Survey designs. "Simplicity versus efficiency " and*

assessment of non-timber resources, p. 141-150. Birmensdorf, Suiza, Instituto Federal Suizo de Bosques, Nieve e Investigación Paisajística.

Brassel, P. 1995. Assessment of non-productive forest functions in the Swiss National Forest Inventory (NFI). *The Monte Verità Conference on Forest Survey designs. "Simplicity versus efficiency" and assessment of non-timber resources*, p. 78-96. Birmensdorf, Suiza, Instituto Federal Suizo de Bosques, Nieve e Investigación Paisajística.

Brooks, D.J. y Grant, G.E. 1992. New approach to forest management. *J. Forest.*, 90: 21-24.

FAO/ICEE. 1993. *Meeting of Experts on Global Forest Resources Assessment (Kotka II)*. Research Paper No. 469. The Finnish Forest Research Institute. 214 pp.

Jeffers, J.N.R. 1996. Measurement and characterisation of biodiversity in forest ecosystems. New methods and models. *European Forest Institute, EFI Proceedings*, 6: 59-67.

Levêque, C. 1994. *Environnement et diversité du vivant*. Pocket Sciences, Collection Explora. 127 pp.

Lund, H.G. 1986. *A primer on integrating resource inventories*. Gen. Tech. Rep. WO-49. United States Department of Agriculture, Forest Service. 64 pp.

Lund, H.G., ed. 1993. *Integrated ecological and resource inventories*. Proceedings of a National Workshop, 12-16 de abril, Phoenix, Arizona, Estados Unidos.

Max, T.A., Schreuder, H.T., Hazard, J.W., Oswald, D.D., Teply, J. y Alegria, J. 1996. *The Pacific Northwest region vegetation and inventory monitoring system*. Forestry Service Research Paper PNW-RP-493, United States Department of Agriculture. 22 pp.

Oliver, C.D. 1992. A landscape approach: achieving and maintaining biodiversity and economic productivity. *J. Forest.*, 90:20-25.

Pelz, D.R. 1995. Non-timber variables in forest inventories. *The Monte Verità Conference on Forest Survey designs. "Simplicity versus efficiency" and assessment of non-timber resources*, p. 103-109. Birmensdorf, Suiza, Instituto Federal Suizo de Bosques, Nieve e Investigación Paisajística.

Poso, S., Waite, M.L. y Koivuniemi, J. 1995. Assessment of non-timber functions: remote sensing technologies. *The Monte Verità Conference on Forest Survey designs. "Simplicity versus efficiency" and assessment of non-timber resources*, p. 239-245. Birmensdorf, Suiza, Instituto Federal Suizo de Bosques, Nieve e Investigación Paisajística.

Rondeux, J. 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Bélgica, Presses agronomiques. 521 pp.

Rondeux, J. 1994. *Ressources naturelles et inventaires intégrés: la logique du possible*. Cah. For. Gembloux, n° 12. Gembloux, Bélgica. 18 pp.

Rondeux, J. y Lecomte, H. 1996. *Inventaire des ressources ligneuses de Wallonie. Guide méthodologique*. Gembloux, Bélgica, Faculté universitaire des Sciences agronomiques, Unité de Gestion et Economie forestières. 208 pp.

Rondeux, J., Lecomte, H., Florkin, P. y Thirion, M. 1996. *L'inventaire permanent des ressources ligneuses de la Région wallonne: principaux aspects méthodologiques.* Cah. For. Gembloux, n° 19. Gembloux, Bélgica. 25 pp.

Planeamiento de inventarios forestales

B. HUSCH

B. HUSCH es Jefe de la Sección de Inventariación de Recursos Forestales de la Dirección de Montes y Productos Forestales de la FAO. Este artículo es un fragmento de un discurso pronunciado en la Reunión Nacional celebrada del 27 al 30 de septiembre de 1964 por la Division of Forest Mensuration de la Sociedad de Forestales Americanos en Denver, Colorado (E.U.A.).

RESULTA EVIDENTE que los forestales han descuidado el conceder la importancia debida al planeamiento de los inventarios forestales en su afán de iniciar la labor, hacer la interpretación de fotos, salir al campo, medir árboles y reunir datos. Hay que decir, en primer lugar, que la parte más difícil y la clave de todo inventario se presenta incluso antes de que se mida un solo árbol. La encontramos en la mente del forestal, o del equipo, que proyecta en todos sus detalles el método de la inventariación. Estas palabras no están dirigidas principalmente a los expertos en inventarios, que conocen ciertamente los puntos que han de suscitarse, sino a aquellos forestales que deben ocuparse de la inventariación como una más de sus variadas tareas. Se espera, sin embargo, que los conceptos expuestos interesarán también a los especialistas, aunque no sea más que porque no son sino un resumen subrayado de lo que ellos vienen diciendo desde hace muchos años.

Si bien pueden variar las razones para llevar a cabo los inventarios, existe una unidad en su planeamiento y ejecución, cualesquiera que sean los fines diversos a que la información resultante pueda aplicarse. Así pues, se pueden necesitar desde datos de inventarios en un nivel nacional para el planeamiento y desarrollo general de los montes y las industrias forestales hasta datos detallados sobre un tramo de monte de propiedad privada. Pero de lo que se trata en todos los casos es de lograr conocer los recursos forestales. Para utilizar cuerdamente y ordenar los recursos forestales en cualquier escala, es imprescindible conocer la localización de las zonas boscosas y poseer estimaciones de la cantidad, calidad y disponibilidad de la madera en pie, así como de su incremento y rendimiento. Esta es la información que puede proporcionar un inventario forestal.

El reunir esta información eficazmente y el proporcionarla en forma útil no es, ni mucho menos, tarea sencilla. El preparar un programa capaz de rendir la información deseada exige mucha meditación y planeamiento. Los puntos más importantes que hay siempre que considerar en esta fase del planeamiento se resumen aquí brevemente: *considerar* y no *incluir*, pues no todos los conceptos tienen la misma importancia ni necesitan incluirse en todos los inventarios.

Pero para los efectos del planeamiento, deben siempre considerarse y, si se ve que no son aplicables, eliminarlos. En breve, los puntos mencionados deben considerarse como una lista de comprobación cuando se planea un inventario. El orden en el que los temas se presentan no es rígido y admite alguna modificación, aunque en la mayoría de los casos es el lógico.

1. La primera fase del planeamiento exige la compilación y estudio de toda la información que haya disponible sobre la zona forestal de que se trate. Esta información debe incluir todos los inventarios, informes, mapas o fotografías anteriores, si se dispone de ellos. Si es posible, los reconocimientos sobre el terreno se demuestran útiles para enterarse de los tipos de monte y son esenciales si se piensa incluir la interpretación fotográfica en el método de inventariación. También es conveniente conseguir por 10 menos una noción aproximada de las características de la madera, su volumen por unidad de superficie, y una idea de su variabilidad. La información sobre el sistema de transporte existente (ferrocarriles, carreteras, vías fluviales y sendas) es importante, ya que no sólo influye en el método de transporte, sino también en la distribución de las parcelas de muestreo. El tipo de transporte - aeroplano, helicóptero, barco, vehículos, caballería o a pie - dependerá de la red de transportes. Debe tenerse en cuenta, durante el reconocimiento, la manera de proporcionar apoyo logístico al futuro inventario. Por apoyo logístico se entiende alojamiento, alimentación y suministros para los equipos de campo.

2. La fase siguiente del planeamiento debe consistir en decidir qué información debe proporcionar el inventario. Se trata de una fase crítica del planeamiento a la que, a menudo, no se presta la debida atención, quedando relegada sin reconocerse su contribución vital. Se recomienda con la mayor insistencia que, en esta fase resolutive del planeamiento, se decida exactamente qué clase de información se pretende obtener de los resultados finales del inventario. Es esencial que todas las personas interesadas en la labor del inventario o en el uso a que se destinará el informe final discutan detalladamente o lleguen a un acuerdo sobre este punto antes de pasar a las fases subsiguientes del planeamiento. Es importante incluir descripciones de los parámetros de las masas, unidades y límites de precisión deseados en las estimaciones. Es de capital importancia decidir en una fase temprana del planeamiento de un inventario en cuanto al error permisible y la probabilidad especificada. Esto debe hacerse inmediatamente después de haber determinado para qué ha de emplearse la información y el grado de precisión que se necesita. No conviene seguir ciegamente ningún error o probabilidad convencionalmente aceptados. Más bien, para utilizar la información, debe bastar la precisión decidida: una precisión mayor significa un despilfarro de dinero. Se recomienda además, que en esta etapa se prepare el esquema de los cuadros que han de

figurar en el informe definitivo. Estos esquemas deben incluir todos los títulos, encabezamientos de columnas, límites de clase y unidades de medida. Esto puede considerarse una tarea onerosa que puede dejarse hasta que se hayan recogido los datos, pero es sumamente importante en cuanto al orden de sucesión, ya que la subsiguiente labor de inventariación depende de las decisiones tomadas en ese momento.

Con harta frecuencia, esta fase inicial se ha desatendido en absoluto al planear un inventario. Es por desgracia frecuente que el planeamiento de un inventario se limite a decidir el número y distribución de las fotos y parcelas de terreno, seguido por las mediciones especificadas. Se reúne así una masa de datos y sólo entonces se piensa en cómo puede extraerse de ellos alguna información y en la forma de presentarla. Es muy corriente que las personas que desean utilizar los datos del inventario se quejen de que estén presentados en forma inconveniente y de que se haya omitido o, al contrario, dado demasiada información.

El procedimiento adecuado es exactamente lo contrario, o sea, decidir la clase y presentación de los resultados finales al principio y, hecho esto, pasar a establecer los procedimientos a seguir para que el inventario produzca la información requerida. Una parte de la fase preliminar debería dedicarse a decidir qué información auxiliar se va a dar, por ejemplo, mapas, superpuestos transparentes, datos edafológicos, esquemas del aprovechamiento de tierras, rutas de transporte, etc.

3. Un aspecto muy importante del planeamiento de inventarios es la cuestión del tiempo y de los fondos disponibles para ello. En la operación de planeamiento, esta cuestión no debe surgir repentinamente como cosa aparte, sino estar presente en todo momento durante el planeamiento. Se menciona aquí este punto únicamente para resaltar su importancia y no porque sea exclusivo de esta fase.

Puede que no se disponga más que de una cantidad fija de dinero para un inventario, por lo que habrá que ajustarse a dichos límites. Por otra parte, puede haber una cierta flexibilidad en los fondos disponibles y entonces habrá que estimar el costo de una operación de inventariación y ver si se cuenta para ello con la cantidad de dinero necesaria o va a ser aprobada dicha cantidad. En cualquiera de los casos, es necesario procurar que la estimación de los costos de todas las fases del inventario constituya una parte del proceso de planeamiento. Esto es especialmente importante, ya que todos los aspectos del inventario se verán afectados. Mencionaremos sólo unos cuantos: la dotación y competencia del personal, la clase de equipo e instrumentos, el empleo de nuevas fotografías aéreas o de las ya

existentes, el número y distribución de las parcelas de muestreo, todo lo cual dependerá de los costos.

También habrá que tener en cuenta el tiempo disponible para un inventario, factor cuyos efectos son muy similares a los ya mencionados con respecto a los costos. A veces, no hay más remedio que contentarse con resultados de precisión menor, pero disponibles a corto plazo, en vez de esperar más tiempo para conseguir estimaciones más exactas.

4. Una vez pasada la fase crítica de decidir qué clase de información ha de rendir el inventario, se puede entrar en los detalles del proyecto. En la mayoría de los casos, los inventarios, cualquiera que sea su extensión, requieren el empleo de algún sistema de muestreo. Sin embargo, hay casos en que es mejor un inventario completo o al 100 por ciento. Estos son pocos, pero no deben excluirse a priori. En los siguientes párrafos se da por sentado que en el inventario se utilizará un sistema de muestreo.

5. Seguidamente se considerará la posibilidad de utilizar la fotografía aérea como parte del proyecto de inventario. Si se dispone ya de fotografías aéreas, su utilidad dependerá de las características que han de reunir para nuestro trabajo. Las fotografías existentes son las que son y no pueden cambiarse por lo tanto son los procedimientos que han de utilizarse los que deben amoldarse a sus especificaciones. Si se hacen nuevas fotografías aéreas, es posible fijar las especificaciones que hagan que dichas fotografías rindan la mayor utilidad para un determinado inventario. En cualquier caso, si es posible, convendrá utilizar la fotografía aérea para el plano del inventario. En la mayor parte de los métodos de inventariación, la principal utilidad de la fotografía aérea es que permite la estratificación del área forestal. Esto implica la fotointerpretación, que a su vez exige conocimiento de las condiciones del monte y aptitud para identificar las diferencias en las fotografías aéreas. Es esencial que el planeamiento del inventario incluya un período de capacitación de fotointérpretes en la identificación de los estratos establecidos para subdividir la zona forestal. Cuando los fotointérpretes hayan trabajado largo tiempo en una zona determinada, su experiencia pasada podrá permitir la eliminación de esta fase. Pero cuando la inventariación abarque regiones nuevas o por lo menos poco familiares para el fotointérprete, no hay más remedio que dedicar tiempo a la capacitación en fotointerpretación, incluyéndose la comprobación sobre el terreno. Deben prepararse instrucciones detalladas para el sistema de clasificación de interpretación de fotos, distribución de parcelas fotográficas, si se utilizan, y las mediciones que han de hacerse en las fotografías.

6. El plano del muestreo para obtener mediciones exige la integración de la información que se desea obtener del inventario, el monte, las condiciones topográficas y logísticas,

y la ingeniosidad del proyectista para preparar un plan de muestreo adecuado estadísticamente y que proporcione la información que se necesita dentro de los límites de error permisibles y de la probabilidad deseada, con los recursos disponibles y en el tiempo requerido. Hay que procurar evitar el enfoque anticuado, con harta frecuencia seguido, de escoger una determinada intensidad de muestreo como primera medida del proyecto de inventariación, en vez de decidir los límites aceptables de error y determinar entonces la intensidad necesaria para mantenerse dentro de dichos límites.

Es en la fase de planeamiento cuando la aptitud creadora del planificador de inventarios cobra plena importancia. No puede recomendarse un solo procedimiento, ya que son muchos los planes que cabe preparar según la capacidad, la inteligencia y la experiencia del proyectista. Se mencionan a continuación sólo los conceptos que hay que tener en cuenta en el plan de muestreo:

- a) preparación de un sistema de estratificación;
- b) decidir entre el empleo del muestreo sistemático o el del muestreo al azar;
- c) cálculo del número de fotografías y de parcelas de muestreo que se necesitan para obtener la estimación deseada dentro de los límites de precisión previstos;
- d) tamaño y forma de las parcelas de muestreo;
- e) distribución de las fotos y parcelas de muestreo por estratos.

En los párrafos anteriores se han mencionado los factores que influyen en los detalles del proyecto de muestreo, pero, para una mayor claridad, y resumidos brevemente, son:

- a) la clase y la precisión de la información deseada;
- b) el tiempo y los fondos disponibles o necesarios;
- c) la disponibilidad o posibilidad de utilizar fotografías aéreas;
- d) los medios de transporte, comunicación y logísticos.

7. En las etapas iniciales del planeamiento, es necesario considerar las tablas y relaciones volumétricas o las relaciones de otras unidades cuantitativas que puedan utilizarse en el inventario. Con mucho, la mayoría de los

inventarios utilizan tablas volumétricas, aunque puedan idearse otros procedimientos para convertir directamente los caracteres mensurables de un árbol en volumen. Debemos también recordar que el objeto de un inventario puede ser asimismo el obtener información sobre otras características de las masas por ejemplo el peso. Cuando se utilizan las tablas volumétricas, es esencial comprobar si aquellas de que se dispone son apropiadas y, en caso contrario, incluir procedimientos para su confección. Si se cuenta ya con tablas volumétricas, deben idearse procedimientos para comprobar su aplicabilidad para toda la gama de tamaños de árboles, especificaciones comerciales y adecuación de la forma.

8. Deben prepararse instrucciones detalladas, que describan la dotación y el número de brigadas, su distribución en la zona del inventario y sus programas de trabajo. Deben prepararse instrucciones para cada miembro de la brigada, a fin de que todo el trabajo sea uniforme. Debe organizarse el transporte y proveer los medios de comunicación adecuados. El transporte puede ser por aeroplano, helicóptero, jeep, caballería, barco o a pie; pero, en cualquier caso, debe ser planeado en detalle. Las comunicaciones son importantes, y en zonas remotas debe poderse disponer de radios receptoras y transmisoras.

Si las brigadas de campo no tienen experiencia, es necesario organizar un período de capacitación práctica, seguido por la reiterada comprobación de la labor, de manera que las mediciones sobre el terreno se lleven a cabo adecuadamente.

9. Deben prepararse instrucciones detalladas que describan los procedimientos que han de seguirse para la localización sobre el terreno de las parcelas de muestreo, establecimiento y medición de las mismas. Es importante que la especificación dendrométrica se ajuste en las parcelas a las tablas o relaciones volumétricas que se vayan a emplear y con las tablas elegidas previamente para los resultados finales. Esto pone de manifiesto la importancia que tiene la pronta preparación de la forma de las tablas definitivas, ya que, si así se hace, concuerdan las mediciones sobre el terreno.

Hay que preparar también instrucciones para obtener mediciones adicionales del crecimiento y calidad así como la información suplementaria que pudiera desearse, como, por ejemplo, condiciones de suelo, vegetación secundaria y regeneración.

Deben prepararse también las instrucciones necesarias sobre la utilización de fotografías en el campo.

Es importante decidir qué instrumentos han de utilizarse, y estar seguros de que todas las brigadas de campo están familiarizadas con los mismos. En los casos necesarios, habrá que proveer capacitación en el empleo de instrumentos para conseguir uniformidad en la labor.

10. Los modelos de estados que han de utilizarse sobre el terreno deben permitir un registro fácil y preciso de las mediciones de campo. Deben ser lo más sencillos posible y, cuando convenga, ideados para facilitar la ulterior computación o transferencia de datos. Cuando se vayan a utilizar sistemas de elaboración de datos, se prestará consideración al registro directo en tarjetas perforadas, en vez de la transferencia en la oficina de los estados de campo convencionales. Se ha visto que era útil proceder al ensayo sobre el terreno de un modelo de estado antes de aceptarlo y reproducirlo en cantidad. El ensayo en el terreno sugiere a veces cambios deseables en las hojas de registro, imposibles de apreciar en la oficina.

11. Otra importante fase del planeamiento antes de empezar la labor operacional consiste en proyectar los procedimientos de compilación y cálculo. Estos deben incluir la descripción de las técnicas de elaboración de los datos, si han de serlo por calculadoras o por computadores más complicados. Siempre que sea posible, conviene utilizar máquinas para la elaboración de datos, ya que son más rápidas y permiten cálculos de muchos tipos que serían demasiado laboriosos si se utilizan calculadoras de mesa. Hay que recordar que es posible utilizar un equipo computador, incluso tratándose de inventarios pequeños. Con frecuencia, es posible y más conveniente enviar los datos a los centros de elaboración para la computación, en vez de pretender disponer de máquinas en la propia oficina. A medida que los forestales se familiaricen con la programación y se cuente con más programas básicos, puede ocurrir que todos los cálculos de inventariación lleguen a hacerse en esta forma. Las fórmulas para el cálculo de los totales, promedios y errores de muestreo deben fijarse en esta etapa. En todo caso, es esencial que los resultados finales de los procedimientos de compilación y cálculo elegidos rindan los resultados deseados previamente escogidos e indicados en el esquema de las tablas definitivas.

Este enfoque al planeamiento de un inventario puede parecer demasiado prolijo y complicado, pero la experiencia prueba que con ello se obtiene un inventario más eficaz con menos pérdida de tiempo y de esfuerzos, y que la información que proporciona es más utilizable que la de un inventario emprendido sin preparación. La duración y la intensidad del planeamiento preliminar variarán, como es lógico, según la cantidad y los detalles de la información deseada, la extensión del área que se quiere inventariar y el error permisible. Un inventario pequeño y sencillo exigirá, como es natural, menos planeamiento preliminar que uno de 100.000

Ha. o más en zonas forestales remotas y subdesarrolladas. Pero lo esencial es que han de tenerse en cuenta las mismas cosas, cualquiera que sea el inventario, y admitirse que puede variar el grado de la intensidad del planeamiento.

Interpretación de fotografías y cartografía con fines forestales

por **BRUNO RHODY**

BRUNO RHODY, Ingeniero diplomado de montes, forma parte del personal del Instituto de Investigaciones forestales, Birmensdorf, Zurich (Suiza).

El texto fue revisado por E. J. Gärtner.

Con referencia especial al Aviógrafo Wild B8

EN EL CAMPO FORESTAL se suelen emplear los métodos más sencillos para recoger información a partir de fotografías aéreas. El resultado es que se hace más hincapié en la interpretación de fotografías que en la fotogrametría propiamente dicha; la fotointerpretación para las aplicaciones forestales se ha convertido en una rama altamente especializada de la fotogrametría clásica. En las deliberaciones que sobre la introducción de medios técnicos auxiliares mantienen los forestales, se dice a menudo que no deberían emplearse instrumentos y métodos de evaluación complicados. Durante mucho tiempo, por tanto, no se tuvo en cuenta el uso de estereotrazadores para fines forestales.

Debido a la creciente e intensa ordenación forestal y a la introducción de los métodos de muestreo en la inventariación forestal, se concede ahora creciente atención a un conocimiento más preciso del área de las masas y a su clasificación. Asimismo, muchas autoridades piden hoy día que se haga una evaluación a fondo de las superficies forestales siguiendo las mismas normas que en la inventariación catastral. En tales casos, los métodos de medición sencillos, como los empleados en la interpretación de fotografías, resultan insuficientes y se hace necesario el empleo de estereotrazadores. En los países donde haya que levantar inventarios forestales completamente nuevos, o donde hagan falta mapas forestales muy precisos dadas las dificultades del terreno, la ordenación intensiva o las complicadas condiciones silvícolas, el empleo de estos instrumentos es indispensable.

Utilización de las fotografías aéreas

En las confección de mapas topográficos a partir de fotografías aéreas, se trata principalmente de trazar los objetos con contornos definidos. En la interpretación con fines

forestales, sin embargo, lo que tiene especial interés es la gradación de los tonos grises y las diferencias en cuanto a estructura y textura de sus múltiples combinaciones e interrelaciones. En tanto el topógrafo debe ver la imagen en forma abstracta, el interés del forestal reside en el aspecto natural del monte tal y como se ve en la fotografía. Otra característica de la fotointerpretación de zonas forestales es que la clasificación de tipos de monte dentro de un rodal es difícil. La estructura estratificada de las masas forestales hace que suela ser difícil determinar la distancia entre la cubierta del vuelo y el suelo. Estos aspectos, tan importantes en el caso de la cartografía forestal, apenas puede evaluarlos correctamente un inventariados o un fotogrametrista.

La experiencia ha demostrado que es constantemente necesario tomar decisiones que exigen capacitación profesional o consultas con los intérpretes durante el proceso del trazado. Estas consideraciones indican que no es casi posible o eficaz separar la interpretación y el trazado, especialmente si en la zona en cuestión las condiciones silvícolas son difíciles. Los organismos forestales harían bien, por tanto, en adquirir sus propios instrumentos de trazado y encomendar los trabajos de fotointerpretación y de cartografía al personal a sus órdenes.

Instrumentos de trazado para organismos forestales

Son muchos los casos en que las oficinas de inventariación, los principales servicios forestales y las estaciones experimentales y de investigación pueden considerar la compra de un instrumento trazador. Cuando hay que hacer una nueva inventariación de vastas extensiones de monte, como sucede fuera de Europa o en las regiones tropicales, la adquisición de un instrumento trazador es particularmente importante. Si el organismo en cuestión no puede hacer pleno uso del equipo, debe poderlo alquilar de vez en cuando a otros organismos que no lo estén utilizando en ese momento.

¿Qué estereotrazadores pueden recomendarse para trabajos forestales? No corresponde a este artículo entrar en detalles sobre los instrumentos de trazado y sólo trataremos de sus aplicaciones forestales. Dadas las condiciones encontradas en Europa central, la posible relación de ampliación entre la escala fotográfica y la de trazado tiene cierta importancia. Los mapas forestales utilizados en dicha región suelen ser de escala relativamente grande: de 1:5.000 y 1:10.000, para presentar con detalle las condiciones del monte.

FIGURA 2. - Ejemplo interpretación de los tipos de bosques que han de introducirse en el manuscrito durante la restitución en el B8. Zona de castaños, Suiza meridional. (Foto: Servicio Topográfico Federal Suizo)

En cambio, por razones económicas, la escala negativa debe escogerse lo más pequeña posible. Además, los vuelos bajos con fines fotográficos no son posibles en el caso de bosques de montaña, ya que las laderas sobrepasan la línea de los árboles. En el caso de bosques sometidos a una ordenación intensiva, el límite para la interpretación se alcanza ya al 1:20.000; las escalas menores no resultan adecuadas. Estas consideraciones indican que para fines forestales el trazador debe tener una relación de ampliación de 1:4. Los trazadores con soluciones aproximadas, conocidos el nombre de aparatos de trazado de tercer orden, no permiten esta ampliación de la foto al mapa.

Otro factor importante en la interpretación fotográfica para trabajos forestales es la medición de la altura. No sólo es importante disponer de lecturas directas de las alturas en metros o pies, sino que la gama de alturas del aparato debe ser suficientemente amplia, ya que incluso en el caso de terrenos perfectamente llanos las alturas de los árboles pueden variar hasta 40 m debido a diferencias de masa. La determinación de la altura es especialmente importante cuando se trata de bosques de montaña. En el caso de los aparatos de trazado de tercer orden, la línea de vista Z es todo lo más un 25 por ciento de la altura de vuelo. Esto no es suficiente para la interpretación de las zonas de bosque de montaña.

Hasta ahora no se ha prestado gran atención a la cuestión de la adecuación de los aparatos de trazado para la identificación de tipos de bosque. Únicamente el empleo de una buena iluminación y de diapositivas permite interpretar los sutiles contrastes de tono que expresan la composición del bosque. Para distinguir estas tenues diferencias en las masas y determinar los límites de las mismas, se necesitan marcas claras de medición en el aparato de trazado. Estas necesidades se cumplen mediante marcas de medidas bien definidas, las cuales, sin embargo, no deben ser demasiado pequeñas.

Las exigencias de precisión para los aparatos de restitución forestal es un tema muy discutido. En principio, los límites de precisión deben determinarse de acuerdo con el problema que haya que investigar y con los resultados buscados. Para aplicaciones forestales, las especificaciones de precisión no deben ser demasiado rigurosas. Cuando se emplean trazadores de solución aproximada, la mayor fuente de errores es el balanceo.

Lo mejor para satisfacer las exigencias de la interpretación fotográfica es el empleo de estereotrazadores de gran precisión. En cambio, los aparatos de solución aproximada no cumplen los requisitos, especialmente cuando se trata de interpretar fotografías de zonas de bosque de montaña. Hasta hace poco, entre los trazadores simples y los

autógrafos no había absolutamente nada y, dado su elevado precio, sólo en casos excepcionales estaba la adquisición de aparatos de restitución estereoscópica al alcance de los organismos forestales. Ahora ya, la Wild Heerbrugg Company ha creado un estereotrazador simple, el Aviógrafo B8, que ha venido a remediar esa deficiencia.

Utilidad del aviógrafo Wild B8

En comparación con los aparatos de restitución de solución aproximada, la principal ventaja fotogramétrica del Aviógrafo B8 consiste en la exacta reconstrucción geométrica en el instrumento de los haces de rayos tal y como en el momento de la exposición de la fotografía. Esto permite convertir exactamente las proyecciones centrales en una proyección ortogonal, lo que nos da un trazado preciso, incluso cuando se trata de zonas montañosas.

Otra ventaja de este aparato es que el levantamiento cartográfico puede realizarse simultáneamente a dos escalas: una a la escala del modelo y la otra en una mesa lateral a la escala de restitución requerida. De este modo, el operador va teniendo directamente ante sí un trazado comprobatorio y puede introducir inmediatamente los símbolos importantes de interpretación. El trazado pantográfico en la mesa lateral queda, por consiguiente, como un mapa «limpio» de la composición usualmente complicada de las zonas del monte. Además, el operador no se distrae de la labor de trazado, cosa especialmente importante cuando se trata de operadores de poca experiencia, que es lo que con frecuencia ocurre cuando los organismos forestales utilizan para este trabajo a personal propio.

Otra de las ventajas del B8 es el movimiento a pulso del índice móvil y de regulación de la altura del bastidor de calcar. Este método resulta más fácil para un principiante que el que se emplea con los autógrafos, que hay que manejarlos con dos ruedas de mano y un disco de pie.

Por último, la brillante iluminación de la imagen, el amplio campo de visión y la gran ampliación del área que se interpreta son otras tantas características que hablan en favor del B8. Otro de los aspectos prometedores del B8 para trabajos forestales es que permite la interpretación y el trazado a partir de fotografías en colores, cosa que no puede hacerse con los instrumentos tipo proyección.

Ya se ha hecho referencia a la relación de ampliación. En el Aviógrafo B8 la relación de escala de imagen a escala del modelo es de 1:2 y la de la escala del modelo a la escala del trazado es de 1:2,5, utilizándose el pantógrafo lineal y la mesa auxiliar, proporcionándose, pues, una ampliación de cinco veces de las imágenes al mapa. Los requisitos forestales quedan, por tanto, perfectamente cumplidos.

Estereotrazado e interpretación fotográfica

En la fotogrametría forestal, uno de los más importantes factores para la restitución es registrar los resultados de la fotointerpretación en las fotografías y trasladarlos al mapa.

En la interpretación de fotografías de montes de Europa central hay que distinguir, como resultado de una ordenación intensiva, muchos tipos de bosque y clases de calidad. Pero también en otras partes del mundo los bosques se hallan más o menos diferenciados como consecuencia de las influencias geológicas, topográficas y antropogeográficas.

La fotointerpretación de un modelo espacial se hace delineando con tintas de colores los tipos de bosque, clases de calidad y demás características importantes de la zona. Esta importante labor preparatoria para el trazado puede hacerse bien en papeles impresos, o en diapositivas, o - en casos especiales - incluso en las negativas originales.

Las ventajas y desventajas del empleo de papel de copia, películas o placas deben sopesarse en cada caso. Es indiscutible que la interpretación sobre diapositivas resulta muy superior a la hecha sobre otros materiales, ya que en las zonas de monte muchos detalles quedan ocultos por la sombra y sólo pueden descubrirse e identificarse examinando de diapositivas. Las negativas tienen también la ventaja de que tal vez permiten identificar los detalles, pero las relaciones luz-sombra aparecen invertidas y es por tanto necesaria una conversión mental. Esto es difícil, sobre todo en el caso de masas mixtas de coníferas y frondosas y puede dar lugar a errores de interpretación.

Muchos de los proyectos de investigación y experimentales han demostrado que ambas operaciones, la fotointerpretación y la restitución estereoscópica, es muy conveniente que se combinen y pueda hacerlas una sola persona. En muchos trabajos forestales, la separación de la interpretación y de la restitución ocasiona una división del trabajo, ya que en general se hacen estas operaciones en distintos lugares. Es, pues, conveniente que se ordenen las dispositivas cuando se redacten los pliegos de condiciones para contratar el vuelo aereofotográfico. Las diapositivas pueden interpretarse con un estereoscopio sobre una mesa luminosa. Los resultados se anotan con tinta de color transparente o bien directamente sobre las diapositivas o en superponibles claros, y se envían al organismo encargado de la restitución.

Interpretación fotográfica y cartográfica con el Wild B8

En la restitución con fines forestales, el manual de instrucciones del aparato merece especial atención, ya que el

instrumento se utiliza aquí con fines no topográficos y, por tanto, los encargados de la restitución no son fotogrametristas profesionales. En dicho manual es, pues, muy importante la explicación de los términos utilizados en fotogrametría.

Para el Wild B8 se ha tratado en lo posible de preparar un manual de instrucciones que no exija un conocimiento previo de la literatura técnica sobre fotogrametría. Otra característica muy útil es que los cálculos matemáticos para la orientación del modelo se presentan en forma gráfica; para el Wild B8 esto se ha resuelto con tablas adecuadas.

Dadas las menores exigencias de exactitud cuando se trata de trabajos forestales, pueden utilizarse los mapas al día que ya existan para la orientación absoluta de las fotografías. Cuando se ha de tomar una nueva fotografía con fines forestales, es importante que los puntos de pasada visibles desde el aire se señalen antes de que tenga lugar el vuelo. Si no existen puntos de referencia en un monte, se recomienda que se establezcan otros nuevos y que se mantengan despejados. Con ello se lograrán puntos de referencia lo suficientemente precisos para que no sea necesario colocar señales especiales.

En muchos territorios fuera de Europa, donde no se hacen levantamientos intensivos, los puntos de pasada deben determinarse mediante triangulación aérea. En tales casos, hacen falta fotografías a gran altitud, utilizándose las fotografías a baja altitud para la interpretación forestal.

Precisión para medir la altura

Por último, hay que mencionar los requisitos de precisión para las mediciones de altura en la fotointerpretación para trabajos forestales (Cuadro 1).

La exactitud máxima que suele conseguirse cuando se trata de mediciones terrestres de la altura de los árboles es de 10 por ciento para rodales densos y de 2,5 por ciento en el caso de árboles aislados. En consecuencia, la precisión en la medida de la altura en los puntos de pasada debe corresponder a dichos valores. Si los puntos trigonométricos y las curvas de nivel en los mapas cumplen dichas exigencias, pueden utilizarse para la orientación absoluta. Sin embargo, como no siempre existen puntos suficientes de este tipo, será necesario utilizar otros puntos de buenos mapas. Por ejemplo, las especificaciones en cuanto a exactitud de las mediciones de altura en la serie del mapa catastral general suizo al 1:10.000 y en la serie del mapa nacional suizo al 1:50.000 entran en dichas tolerancias. Si comparamos los errores de altura de los puntos de los mapas buenos, hallamos que la tolerancia es de 1,5 m en las hojas catastrales topográficas de los mapas nacionales al 1:10.000,

de 1,5 m para los de 1:25.000 y de 2 m para los de 1:50.000. Por tanto, todos los puntos bien definidos en dichos mapas pueden utilizarse como puntos de pasada para la altura en los trabajos de cartografía forestal.

Exactitud de la posición

Los requisitos en cuanto a exactitud de la posición en el levantamiento de mapas forestales depende principalmente de las posibilidades de identificar los límites de las unidades de fotointerpretación. Las dificultades en definir los lindes exactos de los rodales provienen del cambio de anchura de la faja entre la proyección de la copa y el pie del árbol, y de la estructura del monte. Esta faja indefinida es de 5 m de ancho, aproximadamente, en el caso más favorable, cuando se trata de masas jóvenes y homogéneas, y aumenta con la edad. Por tanto, en cartografía forestal pueden aceptarse los 5 m como el límite superior de tolerancia para la exactitud de posición. Este valor se cumple por el mapa catastral general con 3 m de tolerancia y por el mapa nacional al 1:25.000 con 5 m de tolerancia. El mapa nacional al 1:50.000, con sus 10 m de tolerancia, sin embargo, supera casi todos los requisitos de precisión para la cartografía forestal. El mapa nacional al 1:25.000 puede, por tanto, utilizarse también como control para la orientación absoluta cuando los mapas se levantan con fines forestales.

El empleo de fotografías tomadas a baja altitud, necesario en casos especiales para la fotointerpretación intensiva, es una característica más de la cartografía forestal estereoscópica.

CUADRO 1. - REQUISITOS DE PRECISIÓN PARA LAS MEDICIONES DE ALTURA DE LOS ÁRBOLES (en relación con la longitud focal (f), la altitud del vuelo (A) y el tamaño mínimo de las unidades de interpretación)

Escalas do fotos	1:5.000	1:10.000	1:15.000	1:20.000
Unidades forestales interpretables	Arboles individuales	Grupos supervivencia más pequeños	Grupos de árboles económicos	Masas
Error como % de la determinación de la altura	2,5	5	7,5	10
Altura máxima de los árboles, en metros	40	40	40	40
Error de altura, en metros	1	2	34	
<i>Con f = 152 mm = 6 pulgadas</i>				
A, en metros	760	1 520	2 280	3 040
A, en pies	2 500	5 000	7 500	10 000
Error de altura, en % de A	1,3	1,3	1,3	1,3

Con $f = 210 \text{ mm} = 8 \frac{1}{4} \text{ pulgadas}$				
A, en metros	1 050	2 100	3 150	4 200
A, en pies	3 500	7 000	10 500	14 000
Error de altura, en % de A	0,95	0,95	0,95	0,95
Con $f = 115 \text{ mm} = 4 \frac{1}{2} \text{ pulgadas}$				
A, en metros	575	1 150	1 725	2 300
A, en pies	1 900	3 800	5 800	7 600
Error de altura, en % de A	1,75	1,75	1,75	1,75

En las zonas montañosas ocurre algunas veces que las diferencias de altitud del terreno en un modelo son tan grandes que exceden la gama de alturas del instrumento trazador. Dichos modelos deben ser restituidos por etapas utilizándose diferentes escalas de modelo. En casos excepcionales, puede ser útil llevar a cabo restituciones a una escala arbitraria, lo que requerirá la conversión de la lectura de las altitudes. Para una labor por etapas, debe disponerse en cada estrato de altura de un número suficiente de puntos de pasada.

Como los límites extremos de altura no son cosa rara en el levantamiento de mapas forestales a partir de fotografías a gran escala, O. Wey y EL. Scholl de Wild Heerbrugg se dedicaron juntamente a llevar a cabo investigaciones acerca de las posibilidades instrumentales del Aviógrafo B8. El caso límite se presenta cuando no es posible lograr orientación relativa de una vez, debido a las diferencias de altura en todo el modelo; podría ocurrir que sólo parte de la zona del modelo se encuentre incluida en la gama Z del trazador. En este caso, la orientación relativa sólo puede conseguirse cambiando la base. Como en el Aviógrafo tenemos lo que se llama una base espacial, la orientación relativa no varía al cambiar de base. Para la corrección de ω , por ejemplo, la base puede por tanto ser modificada hasta que el índice móvil pueda ajustarse con el tambor de alturas en partes del modelo que de otra manera se encontrarían fuera de los límites. En este caso, es importante que la inclinación del modelo sea hacia la base o perpendicularmente a ella. Las formas topográficas suelen ser tales que los tramos de monte se extienden a lo largo de ambas laderas de un valle. Para la fotografía del monte, la línea del vuelo debe seguir por tanto la línea central de cada pendiente boscosa paralela al valle. Con esta disposición, un modelo estereoscópico incluye sólo un lado del valle.

El modo más rápido de lograr una orientación relativa es eliminar, ante todo, el balanceo y luego los paralajes ϕ en la parte superior y los paralajes ω en la parte inferior del modelo.

Restitución afín

Finalmente, puede decirse algo del problema muy debatido de la restitución afín, ya que ésta es importante en la cartografía forestal.

Cuando se utilizan las fotografías originales sin transformación para formar un modelo afín, sólo son posibles aproximaciones, encontrándose éstas dentro de ciertos límites de error. Como las precisiones exigidas para fines forestales no son excesivas, las aproximaciones en la restitución estereoscópica pueden a veces satisfacer los requisitos.

El problema de la restitución afín ha sido tratado repetidas veces en las revistas científicas de los últimos años. Estos trabajos demuestran que el empleo de métodos afines de restitución podría justificarse en ciertas circunstancias. Se menciona aquí particularmente la importante cuestión de la restitución con una menor distancia focal (f), que causa compresión del modelo y puede, por tanto, aportar ciertas ventajas en el levantamiento de terreno montañoso. La utilización de distancias focales mayores en la fotografía forestal es importante, ya que la foteinterpretación intensiva exige una vista tan vertical de la zona como sea posible.

FIGURA 3. - El Aviógrafo B8 del Instituto suizo de Investigaciones Forestales, con una operadora en su mesa de dibujo.

FIGURA 4. - Vista detallada del Aviógrafo B8.

En el caso en cuestión, las investigaciones se llevaron a cabo con fotografías tomadas con el Aviotar $f/4$ ($f = 210$ mm). Como esta distancia focal no puede emplearse en el B8, dichas fotografías deben restituirse por afinidad. Al restituir con una distancia focal más corta, la relación entre la escala de elevación y la escala planimétrica cambia en igual proporción que la relación entre la distancia focal de la restitución y la distancia focal de la cámara fotográfica. De acuerdo con las investigaciones de R. Finsterwalder (publicadas en *Bildmessung und Luftbildwesen*, Karlsruhe, Heft 4, 31, Jahrgang), los errores del modelo aumentan linealmente con el factor (k), obtenido por la relación entre la distancia focal de restitución y la distancia focal de la cámara. Con una distancia focal de restitución de (f) = 152 mm y una distancia focal de la cámara de (f) = 210 mm, con un factor (k) de 0,72, los errores de posición y altura debidos a las deformaciones del modelo, resultantes de las inclinaciones de las fotografías, serían de 0,17 mm en posición, con un ángulo de balanceo de 3° y 0,54 por mil de (A), con una diferencia de altitud de terreno del 20 por ciento de la altura de vuelo.

Los errores de posición debidos a la restitución afin son menos importantes desde el punto de vista forestal y caen dentro de la exactitud exigida, mientras que los errores de altura los superan sólo en casos extremos. La investigación llevada a cabo con el Aviógrafo B8 con fotografías forestales tomadas con una mayor distancia focal han mostrado que no puede existir objeción en cuanto al uso de los métodos afines en trabajos forestales, siempre que los ángulos de balanceo sean inferiores a 5° y que la relación entre ampliación (k) de la distancia focal de restitución y la distancia focal fotográfica no exceda el factor 1,5.

En la restitución afin de modelos con el 25 por ciento de diferencias de altura y más, ocurren paralajes residuales que no pueden eliminarse en la orientación relativa. En condiciones orográficas muy difíciles en el modelo, ha resultado conveniente agrupar las pendientes medias del terreno y orientar y restituir el modelo por etapas. Cuando se utilizan métodos afines para la restitución a partir de fotografías forestales, no puede evitarse en casos extremos el uso de dichos métodos aproximados.

En resumen, puede afirmarse que el Aviógrafo es adecuado para la interpretación intensiva en trabajos forestales y la restitución, tanto en condiciones fotográficas normales dentro de los márgenes técnicos como cuando se utilizan métodos afines.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

UNIDAD 2
MUESTREO FORESTAL

MUESTREO Y DISTRIBUCIONES DE MUESTREO:

1. Introducción.
2. Muestreo Aleatorio.
3. Diseño de Muestras.
4. Muestreo sistemático.
5. Muestreo Estratificado.
6. Muestreo por conglomerados.
7. Distribuciones muestrales.
8. El error estándar de la media
9. El teorema Central del límite.

1.- Introducción:

El principal objetivo de la mayoría de los estudios, análisis o investigaciones, es hacer generalizaciones “*acertadas*” con base en muestras de poblaciones de las que se derivan tales muestras. Obsérvese la palabra “*acertadas*” porque no es fácil responder cuándo y en que condiciones las muestras permiten tales generalizaciones.

Por ejemplo si queremos calcular la cantidad de dinero que se gasta una persona en vacaciones, ¿tomaríamos como muestra lo que gastan los viajeros que lo hacen en primera clase? es obvio que no, pero saber a que tipo de personas debemos incluir en nuestra muestra no es algo intuitivo ni evidente.

En la mayor parte de los métodos de muestreo que estudiaremos, supondremos que estamos manejando las llamadas *muestras aleatorias*. Hacemos énfasis en las muestra aleatorias porque son las que nos van a permitir generalizaciones válidas o lógicas.

2.- Muestreo Aleatorio:

Para comenzar, empezaremos distinguiendo entre las dos clases de poblaciones, *Poblaciones finitas* y *poblaciones infinitas*.

Una población es finita si consta de un número finito o fijo de elementos, medidas u observaciones. Por ejemplo los pesos netos de 2000 latas de atún, las calificaciones de todos los estudiantes del instituto...

A diferencia de las poblaciones finitas, las poblaciones infinitas contienen una infinidad de elementos. Este es el caso de cuando observamos una variable continua y hay una infinidad de resultados distintos. También es el caso del lanzamiento indefinido de dos dados,...

Para ver la idea de muestreo aleatorio en una población finita de tamaño N , primero veamos cuantas muestras distintas se pueden tomar de tamaño n . El número de muestras distintas es $\binom{N}{n}$. Por ejemplo si $N=12$ y $n=2$ $\binom{12}{2} = \frac{12 \cdot 11}{2!} = 66$ muestras distintas.

Con base en el resultado de que hay $\binom{N}{n}$ muestras distintas de tamaño n de una población finita de tamaño N , podemos definir como *muestra aleatoria o muestra aleatoria simple* de una población finita:

“Una muestra de tamaño n de una población finita de tamaño N es una variable aleatoria si se selecciona de manera tal que cada una de las $\binom{N}{n}$ muestras posibles tienen la misma

probabilidad $\frac{1}{\binom{N}{n}}$ de ser seleccionada.

Muestreo y Distribuciones en el Muestreo

Por ejemplo si una población consistente en lo $N= 5$ elementos a, e, i, o, u (que podrían ser los ingresos anuales de cinco personas, los pesos de 5 vacas,.....) hay $\binom{5}{3}=10$ muestras

posibles de tamaño $n = 3$. estas constan de los elementos:

$aei \quad aeo \quad aeu \quad aio \quad aiu \quad aou \quad eio \quad eiu \quad eou \quad iou$

si seleccionamos una de esas muestras de forma que esta muestra tenga probabilidad $1/10$ de ser elegida, decimos que dicha muestra es aleatoria.

En la práctica el describir todas las posibles muestras seria complicado si N y n son grandes. Por ejemplo si $n = 4$ y $N = 200$ tendríamos 64,684,950 muestras distintas.

Por suerte podemos realizar una muestra aleatoria, sin necesidad de describirlas todas. Basta con numerar los N elementos de la población y retirar una a una hasta completar los n - elementos de la muestra. Este procedimiento también da una probabilidad de $\frac{1}{\binom{N}{n}}$ de ser

seleccionada la muestra por los que sería aleatoria.

Ahora bien si la población es infinita: diremos que:

Una muestra de tamaño n de una población infinita es aleatoria si consta de valores de variables aleatorias independientes que tienen la misma distribución.

Por ejemplo si lanzamos un dado 12 veces y obtenemos 2, 5, 5, 3, 3, 3, 5, 1, 6, 1,4, 1. Estos números constituyen una variable aleatoria si son valores aleatoria independientes que tienen la misma distribución de probabilidad $f(x) = 1/6$ para $x= 1,2,3,4,5,6$

3- Diseños de muestras:

La única clase de muestras estudiadas hasta ahora son las aleatorias, y no hemos considerado siquiera la necesidad de que en ciertas condiciones pueda haber muestras que sean mejores (digamos más fáciles de obtener, más económicas o mas formativas) que las aleatorias, y no hemos entrado en detalles sobre la pregunta de cuando un muestreo aleatorio es imposible.

En estadística un **diseño de una muestra** es un plan definitivo, determinado por completo antes de recopilar cualquier dato, para tomar una muestra de una población de referencia. Vamos a estudiar las mas comunes:

4.- Muestreo Sistemático:

En algunos casos la manera más práctica de realizar un muestreo consiste en seleccionar, un primer elemento al azar y luego ir cogiendo cada x -término de una lista, o dejar pasar a x - individuos y preguntar al que sigue y así sucesivamente. Aunque un muestreo sistemático puede no ser aleatorio de acuerdo con la definición, a menudo es razonable tratar las muestras sistemáticas como si fueran aleatorias.

El riesgo de los muestreos sistemáticos es el de las periodicidades ocultas. Supongamos que queremos testar el funcionamiento de una máquina, para lo cual vamos a seleccionar una de cada 15 piezas producidas. Si ocurriera la desgracia de que justamente 1 de cada 15 piezas fuese defectuosa y el error de la máquina fuera defectuoso periódicamente, tendríamos dos posibles resultados muestrales:

- Que falla siempre
- Que no falla nunca.

5.- Muestreo Estratificado:

Si tenemos información a cerca de una población (es decir de su composición) y esta es importante para nuestra investigación, podemos mejorar el muestreo aleatorio por medio de la *estratificación*. Este es un procedimiento que consiste en estratificar o dividir la población en un numero de *subpoblaciones o estratos*. Y seleccionamos de cada estrato una muestra aleatoria.

Este procedimiento se conoce como *muestreo aleatorio (simple) estratificado*.

Supongamos una población de tamaño N que se divide en k estratos cuyos tamaños son: N_1, N_2, \dots, N_k ($N_1 + N_2 + \dots + N_k = N$) Para obtener una distribución proporcional hemos de tener en cuenta que :

$\frac{n_1}{N_1} = \frac{n_2}{N_2} = \dots = \frac{n_k}{N_k} = \frac{n}{N}$ de donde se obtiene que $n_i = \frac{N_i}{N} \cdot n$ para $y=1,2,3,4,\dots k$
donde n = tamaño de la muestra.

Esta seria una distribución proporcional, pero hay otras formas de distribuir porciones de una muestra entre los distintos estratos, que serían:

- Distribución óptima.
- Estratificación cruzada.
- Muestreo por cuotas.

Distribución óptima:

En la Distribución optima, no sólo se maneja el tamaño del estrato, como en la distribución proporcional, sino que también se maneja la variabilidad (o cualquier otra característica pertinente) del estrato.

La idea de la Distribución óptima, trata de jugar no sólo con el tamaño del estrato, sino que también pretende jugar con la variabilidad del mismo, de forma que parece lógico que los estratos de mayor variabilidad le correspondan muestras mayores. Si $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_k$ son las desviaciones típicas de los k-estratos podemos explicar tanto los tamaños de los estratos, así como su variabilidad.

$$\frac{n_1}{N_1 \cdot \sigma_1} = \frac{n_2}{N_2 \cdot \sigma_2} = \frac{n_3}{N_3 \cdot \sigma_3} = \dots = \frac{n_k}{N_k \cdot \sigma_k}$$

de donde se obtienen los tamaños muestrales de la distribución óptima o Distribución de Neyman (su inventor) que se obtienen por la fórmula:

$$n_i = \frac{n \cdot N_i \cdot \sigma_i}{N_1 \cdot \sigma_1 + N_2 \cdot \sigma_2 + \dots + N_k \cdot \sigma_k} \text{ para } y=1,2,\dots, k$$

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$$

Estratificación cruzada:

La estratificación no se limita a una variable única de clasificación o una característica y las poblaciones a menudo se estratifican atendiendo a diversos criterios de ordenación o clasificación. Así por ejemplo si queremos realizar un estudio entre los alumnos de distintos centros de EE. MM. podríamos estratificar la muestra atendiendo al nivel de estudios, al sexo, a la especialidad,.... Así parte de la muestra se dedicaría a los alumnos de sexo femenino del 1º de Bachillerato técnico, otra parte a los alumnos de sexo masculino de 1º Bachillerato artístico, y así sucesivamente. Así y hasta cierto punto una estratificación de este tipo, llamada estratificación cruzada, incrementará la precisión de las estimaciones y otras generalizaciones que se usan comúnmente en el muestreo de opinión y las investigaciones de mercado.

Muestreo por cuotas:

En el muestreo estratificado, el costo de la toma de muestras aleatorias de los estratos individuales es tan alto, que a los encuestadores sólo se les dan cuotas que deben cubrir de los diferentes estratos, con alguna restricciones (si no es que ninguna) Por ejemplo si se quiere hacer un sondeo sobre la mejora de los servicios de salud, por ejemplo se le pide que encueste a 10 mujeres de entre 35 y 45 años que sean asalariadas, 20 hombres de entre 30 y 45 años que vivan en pisos de 3 o 4 habitaciones, a 3 hombres de mas de 60 años que estén jubilados.... esto es lo que se determina un muestreo por cuotas y es relativamente económico, lo único es que las muestras resultantes no cumplen las características esenciales de las muestras aleatorias. Por tanto estos muestreos, por cuotas en esencia son muestras de opinión, pero no son válidos para realizar un estudio estadístico formal.

6- Muestreo Por Conglomerados:

Para ilustrar esta clase de muestreo, supongamos que una gran empresa quiere estudiar los patrones variables de los gastos familiares de una ciudad como Sevilla. Al intentar elaborar los programas de gastos de una muestra de 1200 familias, nos encontramos con la dificultad de realizar un muestreo aleatorio simple, (es complicado tener una lista actualizada de todos los habitantes de una ciudad). Una manera de tomar una muestra en esta situación es dividir el área total (Sevilla en este caso) en áreas más pequeñas que no se solapen (Por ejemplo Distritos postales, manzanas etc..) En este caso seleccionaríamos algunas áreas al azar y todas las familias (o muestras de éstas) que residen en estos distritos postales o manzanas, constituirían la muestra definitiva.

En este tipo de muestreo, llamado *muestreo por conglomerados*, se divide la población total en un número determinado de subdivisiones relativamente pequeñas y se seleccionan al azar algunas de estas subdivisiones o conglomerados, para incluirlos en la muestra total. Si estos conglomerados coinciden con áreas geográficas, este muestreo se llama también *muestreo por áreas*.

Aunque las estimaciones basadas en el muestreo por conglomerados, por lo general no son tan fiables como las obtenidas por muestreos aleatorios simples del mismo tamaño, son más baratas. Volviendo al ejemplo anterior, es mucho más económico visitar a familias que viven en el mismo vecindario, que ir visitando a familias que viven en un área muy extensa.

En la práctica se pueden combinar el uso de varios de los métodos de muestreo que hemos analizados para un mismo estudio.

7.- Distribuciones Muestrales:

Veamos ahora el concepto de *distribución muestral* de una estadística, que quizá es el concepto mas importante de la inferencia estadística.

Para introducir el concepto de distribución muestral, elaboraremos la de la media de una muestra aleatoria de tamaño $n=2$ tomada sin remplazo de la población finita de tamaño $N=5$, cuyos elementos son: 3,5,7,9,11.

La media de esta población es: $\mu = \frac{3+5+7+9+11}{5} = 7$ y su desviación típica es:

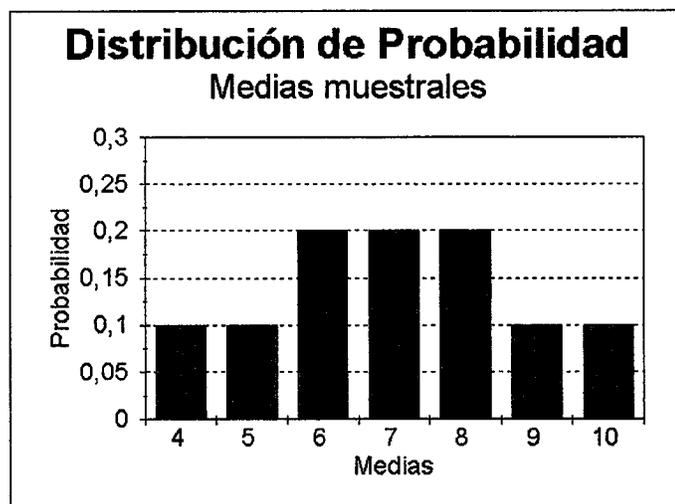
$$\sigma = \sqrt{\frac{(3-7)^2 + (5-7)^2 + (7-7)^2 + (9-7)^2 + (11-7)^2}{5}} = \sqrt{8}$$

Ahora si tomamos una muestra aleatoria de tamaño $n = 2$ de esta población hay $\binom{5}{2} = 10$ posibilidades:

Muestreo y Distribuciones en el Muestreo

n° nuestra	Muestras		μ_x
1	3	5	4
2	3	7	5
3	3	9	6
4	3	11	7
5	5	7	6
6	5	9	7
7	5	11	8
8	7	9	8
9	7	11	9
10	9	11	10

Media	Probabilidad
4	1/10
5	1/10
6	2/10
7	2/10
8	2/10
9	1/10
10	1/10



Un análisis de esta distribución muestral revela cierta información relacionada con el problema de la estimación de la media de la población de referencia con una muestra aleatoria de tamaño $n=2$. Por ejemplo para $\bar{X} = 6,7$ u 8 la probabilidad de que la media población (7) no difiera por más de 1 de la muestral es de $6/10$. Sin embargo para $\bar{X} = 5,6,7,8$ o 9 la media de una muestra no difiera en mas de 2 unidades es $8/10$. Por consiguiente si no conociéramos la media de la población de referencia y quisiéramos estimarla con la media de una muestra aleatoria de tamaño $n=2$, el procedimiento anterior nos da alguna idea del posible tamaño del error.

Si calculamos la media y la desviación típica de la distribución de las medias obtenemos que: $\mu_x = 7$ y $\sigma_x = \sqrt{3}$, luego la media μ_x coincide con la media de la población y la desviación típica ha disminuido.

Evidentemente este proceso realizado con una muestra pequeña no es lo suficientemente explicativo. si tomásemos para $n=10$ y $N=100$ sería necesario una lista de mas de 17

Muestreo y Distribuciones en el Muestreo

billones de muestras.. por lo que para realizar el proceso sería necesario hacer una simulación por computadora.

8.- El error Estándar de la media:

En la mayoría de las situaciones reales, no podremos numerar todas las muestras posibles, o simular una distribución del muestreo para determinar cuánto puede aproximarse la media a la media de la población de la muestra. No obstante normalmente podemos obtener la información que necesitamos a partir de dos teoremas que expresan hechos esenciales sobre las distribuciones en el muestreo de la media:

El primero nos expresa formalmente lo que descubrimos en el ejemplo anterior . La media de la distribución del muestreo es igual a la media de la población y la desviación típica de la distribución del muestreo es menor que la desviación típica de la población.

Esto se puede expresar de la siguiente forma:

En el caso de variables aleatorias de tamaño n tomadas de una población con la media μ y desviación típica σ la distribución del muestreo de \bar{X} tiene la media:

Media de la distribución muestral de \bar{X}

$$\mu_x = \mu$$

Error estándar de la media (desviación típica de la muestra)

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ ó}$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$$

dependiendo de que la población de infinita o de tamaño N

Es común referirse a σ_x como el error *estándar de la media* donde se utiliza estándar en el sentido de desviación típica de la distribución muestral. Su función es fundamental en la estadística pues mide el grado en el que se puede esperar que fluctúen o varíen las medias de una muestra como consecuencia del azar. si σ_x es baja, hay buenas posibilidades de que la media de una muestra se aproxime a la media de la población si σ_x alta, es más probable que obtengamos una muestra que difiera considerablemente de la media de la población.

A partir de las dos fórmula anteriores se puede apreciar lo que determina el tamaño de σ_x .

Ambas fórmulas demuestran (para poblaciones finitas e infinitas) σ_x se incrementa conforme aumenta la variabilidad de la población y que se reduce conforme el tamaño de la muestra es mayor. De hecho es directamente proporcional a σ e inversamente proporcional a \sqrt{n} (en las poblaciones finitas se reduce aún más rápido ya que aparece el factor $\sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$)

Muestreo y Distribuciones en el Muestreo

El factor $\sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$ de la segunda fórmula de σ_x se conoce como *factor de corrección de la población finita*. En la práctica, este se omite a menos de que la muestra constituya al menos un 5% de la población, pues en otro caso se aproxima tanto a 1 que es despreciable (es decir si la muestra no llega al 5% del tamaño de la población, no es necesario usar el factor de corrección)

9- El Teorema Central del Límite:

Antes de introducir este teorema, sin duda de los mas importantes dentro de la estadística moderna, vamos a estudiar un teorema previo. El Teorema de Chebyshev.

El Teorema de Chebyshev.

Para cualquier conjunto de datos (de una población o una muestra) y cualquier constante k mayor que 1, el porcentaje de los datos que debe caer dentro de k-veces la desviación típica de cualquier lado de la media es de por lo menos: $1 - \frac{1}{k^2}$

El teorema de Chebyshev se aplica a cualquier tipo de datos, pero sólo nos indica “por lo menos que porcentaje” debe caer entre ciertos límites. Pero para casi todos los datos, el porcentaje real de datos que cae entre esos límites es bastante mayor que el que especifica el teorema de Chebyshev.

Para las distribuciones que tienen forma de campana puede hacerse una aseveración más fuerte:

- (1) alrededor del 68% de los valores caerán dentro de una desviación típica de la media esto es: entre $\bar{X} - \sigma, \bar{X} + \sigma$;
- (2) aproximadamente el 95% de los valores caerán dentro de dos desviaciones típicas de la media, esto es : $\bar{X} - 2\sigma, \bar{X} + 2\sigma$;
- (3) aproximadamente el 99,7% de los valores caerán dentro de dos desviaciones típicas de la media, esto es : $\bar{X} - 3\sigma, \bar{X} + 3\sigma$;

Basándonos en el teorema de Chebyshev con $k=2$ ¿Qué podemos decir del tamaño de nuestro error, si vamos a usar la media de una muestra aleatoria de tamaño $n=64$ para estimar la media de una población infinita con $\sigma = 20$?

Sustituyendo $n=64$ y $\sigma = 20$ en la fórmula apropiada para el error estándar de la media, obtenemos que : $\sigma_x = \frac{20}{\sqrt{64}} = 2,5$ y por el teorema de Chebyshev podemos afirmar que como mínimo $1 - 1/2^2 = 0,75$ que el error será menor que $k \cdot \sigma_x = 2 \cdot 2,5 = 5$.

Es decir que tenemos una garantía de que en el 75% de los casos la media de la población estará entre la media calculada ± 5 .

Pero esto no es suficiente, cuando la probabilidad real de este caso puede estar entre 0,98 y el 0,999

Teorema Central del Límite.

Para muestras grandes, se puede obtener una aproximación cercana de la distribución muestral de la media con una distribución normal.

Teniendo en cuenta que ya sabemos la media y desviación típica de la distribución muestral, podemos decir que:

$\mu_x = \mu$ y $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ para muestras aleatorias infinitas con media μ y desviación típica

σ y n grande, entonces:

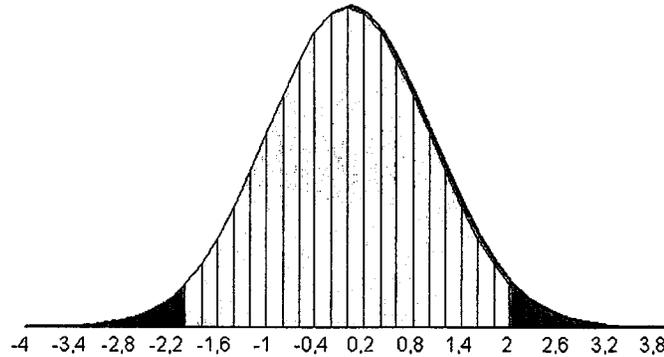
$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ es un valor de una variable $N(0,1)$

Este teorema es muy importante, puesto que justifica el uso de los métodos de la curva normal en una gran cantidad de problemas. se utiliza para poblaciones infinitas y para poblaciones finitas cuando n a pesar de ser grande representa una porción muy pequeña de la población.

Es difícil señalar con precisión qué tan grande debe ser n de modo que podamos aplicar el Teorema Central del límite, pero a no ser que la distribución sea muy Inusual, por lo general se considera que $n = 30$ es lo suficientemente alto.

Veamos el mismo ejemplo anterior aplicando el Teorema Central del Límite.

Distribución N(0,1)



La probabilidad se obtiene por medio del área marcada de la zona gris, específicamente por medio del área de la N(0,1) entre:

$$z = \frac{-5}{20/\sqrt{64}} = -2 \text{ y } z = \frac{5}{20/\sqrt{64}} = 2$$

lo que consultando en las tablas da una probabilidad de 0,9544. Así sustituimos la afirmación de que la probabilidad es “como mínimo 0,75” por una aseveración más firme de que la probabilidad es aproximadamente de 0,95 (de que la muestra aleatoria de tamaño n=64 de la población de referencia difiera de la de la población menos de 5 unidades)

También se puede usar el teorema Central del límite para poblaciones finitas, pero una descripción precisa de las situaciones en que se puede hacer esto, sería más bien complicada. El uso apropiado más común es en el caso en que n es grande y n/N es pequeña. Este es el caso de la mayoría de las encuestas políticas.

Veamos a continuación un ejemplo de la importancia de la selección adecuada de la muestra.

Para ello vamos a suponer una población de tamaño 60 elementos en el que se ha medido una determinada característica. De esta población vamos a realizar 25 muestras aleatorias y vamos a comprobar las diferencias existentes entre los valores estimados y los valores poblacionales.

111	539	216	128	462	283	413	237	193	177
406	257	290	213	325	306	184	168	310	266
279	393	450	92	241	302	319	193	281	313
295	402	183	310	257	257	302	315	353	128
244	116	127	348	418	232	400	166	451	315
335	707	266	91	703	380	618	79	588	199

Media 298,87

Desviación Típica 139,4278

A continuación observemos, las muestras obtenidas:

Número de muestras:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	402	380	266	451	588	128	193	306	400	237	335	402	302	283	216	306	79	237	406	257	313	310	241	128	406
3	177	257	462	116	290	128	310	310	302	281	335	241	91	111	315	400	91	91	184	310	283	348	302	302	283
3	707	257	128	127	306	283	335	319	279	266	588	244	266	707	79	257	335	406	380	462	393	380	111	281	402
4	295	92	281	450	92	91	462	266	92	707	116	116	193	618	127	618	283	232	232	325	91	79	193	325	177
5	290	266	402	315	183	393	127	310	283	313	244	166	588	707	184	315	257	257	353	400	199	166	91	400	393
6	193	166	380	193	257	193	193	295	335	281	184	462	335	232	92	418	281	79	302	237	279	244	216	335	283
7	588	295	183	319	177	79	406	335	281	400	213	232	279	257	319	232	618	310	79	588	241	400	91	313	335
8	184	313	295	310	306	283	128	128	315	295	116	290	451	413	116	306	400	402	184	319	193	393	462	393	402
9	451	183	266	116	177	183	295	306	279	183	257	400	295	462	237	450	257	168	325	290	402	168	128	241	302
10	116	413	257	315	166	232	257	539	184	266	380	418	588	315	539	283	450	325	237	348	283	418	335	306	348

Media	340,3	262,2	292	271,2	254,2	199,3	270,6	311,4	275	322,9	276,8	297,1	338,8	410,5	222,4	358,5	305,1	250,7	268,2	353,6	267,7	290,6	217	302,4	333,1
Desv Típi:	184,3	92,11	94,99	121,2	130,1	94,48	107	94,04	79,66	138,3	134,2	111,2	152,2	198	133,4	109,7	152,1	108,8	97,63	99,88	88,67	113,1	115,4	73,54	69,98

Media de todas las muestras 291,7

Como se puede observar las diferencias con respecto a los valores poblacionales son importantes.

EVALUCIÓN DEL TAMAÑO Y FORMA DE SITIO DE MUESTREO PARA INVENTARIOS FORESTALES EN BOSQUES TROPICALES

Gerardo A. González Cueva¹ Agustín Gallegos Rodríguez²
Efrén Hernández Álvarez³ y Ma. Elia Morales Ramírez²

¹ Estudiantes de Agronomía del CUCBA de la U de G.

² Prof.-Inv. Del Dpto. de Producción Forestal del CUCBA Gra09526@maiz.cucba.udg.mx

³ Departamento de Biometría Forestal de la Universidad de Freiburg, Alemania.

ehernan@forst.uni-freiburg.de

Proyecto CONACYT 31808-B

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas existentes en el manejo sostenible de los bosques tropicales de Jalisco es precisamente la falta de investigación sobre el tamaño y forma de sitio de muestreo que permitan obtener las características ecológicas y productivas del sitio, así como, una mayor eficiencia a menor costo.

El inventario forestal requiere, previamente a la toma de datos, un diseño de muestreo en el que se defina el tamaño y la forma de los sitios. Un sitio de muestreo puede tener la forma de cualquier figura geométrica o incluso puede ser irregular, aun así se han definido tres formas básicas: cuadradas, circulares y rectangulares. Se ha observado que los menos empleados son los cuadrados; la razón es que se traza a rumbos y distancias y en terrenos accidentados “no cierra”, modificándose de esta manera la superficie establecida para el sitio.

En América del Norte, incluyendo México y en el Noroeste de Europa para Inventarios Forestales son usados los sitios circulares con más frecuencia, su aplicabilidad radica en la facilidad para delimitarlos, ya que una vez establecida la posición de su centro, únicamente es necesario “lanzar” radios desde éste hacia donde se encuentren los árboles, además por la forma inciden menos árboles orilla. Generalmente en México se utilizan para la gran mayoría de los bosques templados y fríos del país sitios circulares de 1000 m² y para bosques de clima cálido – húmedo sitios rectangulares. Sin embargo para definir el tamaño y forma del sitio óptimo, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones de índole estadística, como la precisión y muchas otras de índole práctica, como la dificultad, el tiempo y costo (Villa Salas 1973).

De acuerdo a la revisión bibliográfica en algunos trabajos de Inventario Forestal en Bosques Tropicales se utilizan sitios circulares, rectangulares y/o cuadrados de diferentes dimensiones, sin explicar el motivo de elegir dichas dimensiones y forma:

- Spittler, M. (S. F.) en su trabajo “Guía técnica para el Inventario rápido de Bosques Secundarios en la Zona Norte de Costa Rica” utilizó sitios circulares de 113.1 m².
- En el Resumen Público de la Certificación de Manejo Forestal del Ejido Noh Bec Quintana Roo, México (1995), se contempla para el Plan de Manejo entre otras características la de realizar los Inventarios Forestales con muestreo sistemático y sitios circulares de 500 m².
- En la Elaboración de Planes de Manejo Forestal en la “Unidad de Servicios Técnicos Forestales El Tuito S. C.” en la Costa de Jalisco al realizar el Inventario

Para localizar los sitios ya establecidos se usaron GPS y un localizador magnético para ubicar la varilla metálica en el centro del sitio. Para trazar los sitios se utilizó clinómetro, brújula, distanciómetro láser, una cuerda acotada de 35 m de largo y una cinta diamétrica. Se levantaron sitios de muestreo rectangulares y circulares de 1,200m². Los sitios rectangulares fueron de 10 m de ancho por 120 de largo, mientras que los circulares tuvieron un radio de 19.54 m.

En cada sitio se midieron los árboles con DAP > 10 cm, anotando la especie y la distancia que guarda cada individuo respecto a los ejes coordenados X y Y para el caso de los sitios rectangular. Mientras que para los circulares se tomaron el azimut y la distancia desde el centro del sitio para cada árbol. En ambos casos se cuantificó el tiempo real de levantamiento de cada sitio. Los datos de campo fueron levantados por un equipo de 4 personas (fig. 2).



Fig. 2 Red de sitios de muestreo, según clases de áreas basal.

Modelación de tamaños

Los datos levantados permitieron realizar un análisis con diferentes tamaños de sitio tanto en los rectangulares como los circulares.

Se evaluaron sitios circulares de 250 m² (r = 8.92), 500 m² (r = 12.61), 750 m² (r = 15.45), 1 000 m² (r = 17.84) y 1 200 m² (r = 19.54).

Las dimensiones de los sitios rectangulares fueron para 250m² (25x10), 500m² (50x10), 750m² (75x10), 1 000m² (100x10) y 1 200 m² (10x 120).

El análisis estadístico se realizó tomando como base el área basal calculada para cada sitio de acuerdo a su tamaño y forma.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el análisis de los datos se observó que en los sitios circulares de 250 y 500m² presentan un menor coeficiente de variación a comparación con los rectangulares, pero a partir de 750m², la variación de circulares y rectangulares es muy similar. La mayor diferencia de coeficiente de variación se registró en el sitio de 250 m² y conforme aumenta la superficie de muestreo el coeficiente de variación se reduce.

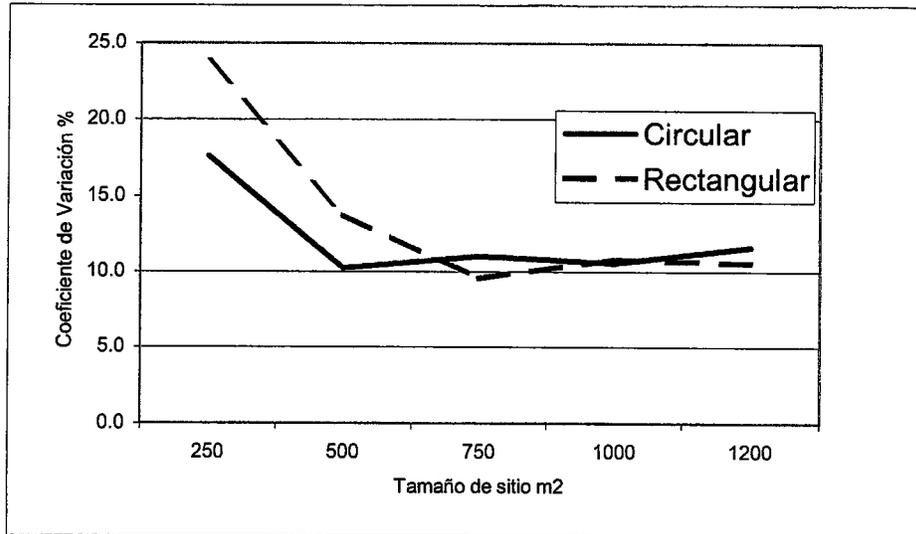


Figura 1. Grafica del Coeficiente de Variación (%) de Área Basal por sitio

La tabla 1 muestra el promedio de árboles por sitio, en donde los sitios circulares de 250 y 500 m² presentan mayor número de árboles, mientras que en los sitios rectangulares, en los otros tamaños, se registran mas árboles.

Tab.1 Árboles promedio por forma y tamaño de sitio de muestreo

Tamaño (M2)	Circular Arb./promedio	Rectangular Arb./promedio
250	8.0	8.0
500	16.3	15.9
750	22.5	24.0
1000	28.3	31.2
1200	30.3	37.5

El tiempo promedio de medición en sitios de forma circular y rectangular de 1 200 m² fue de 19 minutos y 32 respectivamente. Cabe mencionar que solo se tomo el DAP en cada sitio.

Caballero D. y Villa Salas (1970) realizaron una Evaluación Estadística de cuatro tamaños de sitios circulares en Inventarios Forestales en un Bosque in coetáneo de pino –encino con grados variables de pendiente y de calidad de estación, ubicada en Leonardo Bravo, Guerrero; y concluyen que en los cuatro tamaños de sitio que se probaron (500, 750, 1 000 y 1 250 m²) la precisión fue muy satisfactoria, ya que en virtud de que los cuatro tamaños de sitio evaluados , dieron lugar a valores pequeños de los coeficientes de variación de la media (menores a 10 %), se deduce que, en condiciones de campo

semejantes a la de la zona estudiada y de acuerdo al diseño de muestreo empleado, pueden aplicarse satisfactoriamente de 500, 750, 1 000 o 1 250 m² y que la elección del tamaño debe estar en función del aspecto económico, cabe destacar que para una intensidad de muestreo fija, es factible emplear sitios de 500 o 750 m² en vez de los sitios de 1 000 m² que normalmente se han venido utilizando, esto redundaría en un aumento en el número total de sitios y en una mejor distribución de la muestra.

Esta Evaluación se realizó en Bosque Templado y solo con sitios circulares, sin embargo recomienda los sitios de 500 o 750 m² en función de una mejor distribución de la muestra. En la presente Evaluación se establece la comparación de sitios circulares con rectangulares y el coeficiente de variación se presenta en general menor para los circulares que para los rectangulares, salvo el de 750 m²; pero tomando en cuenta otro factor muy importante como lo es el económico, los resultados revelan que el tiempo requerido para el trazo del sitio y la toma de datos es mucho menor en los sitios circulares que en los rectangulares.

CONCLUSIONES

Para las condiciones de sitio de la Cuenca la Quebrada, la cual está constituida por vegetación de bosque tropical Subcaducifolio, los sitios de muestreo de forma circular presentan más exactitud que los rectangulares. Además, representan un ahorro del 41% en el tiempo de medición. Se recomienda la utilización de sitios circulares de 500m².

BIBLIOGRAFÍA

Gallegos, R. A; & Hernández, A. E.. 2001. Informe técnico del proyecto CONACYT: *Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el Manejo de Bosques Tropicales en La Región Costa de Jalisco, México*. CUCBA-U de G.

Ortega, C. A; & Curiel, A. G. M. 2000. *Problemática en la Elaboración de Planes de Manejo para Bosques Tropicales*. Memorias del Taller Internacional de Evaluación y Monitoreo en Bosques Tropicales, "Perspectivas para un Manejo Sostenido" Predio "Las Agujas" municipio de Zapopan, Jalisco, Méx.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial LIMUSA. México D.

Villa, S. A. B. "Generalidades sobre la forma y el tamaño de los sitios de muestreo usados en Inventarios Forestales" *Inventario Nacional Forestal*. 3.1-1 No. 23. 1973

Spittler, M. P. "Guía Técnica para el Inventario rápido de Bosques Secundarios en la Zona Norte de Costa Rica". COSEFORMA.

Resumen Público de la Certificación de Manejo Forestal de Ejido Noh Bec Quintana Roo, México. Bosque Tropical. Certificador: Smart Wood Program 61 Millet Street Richmond, VT 05477 USA.

Stanley, S.A. "Muestreo Diagnóstico: una herramienta útil en la toma de decisiones silvícolas; una guía para la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala / Turrialba, Costa Rica. CONAP. 1997



UNIDAD 3

MENSURACION DE RECURSOS

Resumen

En Petén (Guatemala), se extraen desde décadas productos maderables y no maderables de los bosques con fines de mercadeo: madera, fundamentalmente de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*); chicle, látex cocinado de chicozapote (*Manilkara zapota*); "all spice", fruta de la pimienta (*Pimenta dioica*); follaje de xate¹ (*Chamaedorea elegans*) y jade (*Ch. oblongata*), y con tendencias crecientes, fibra de tallos de bayal (*Desmoncus spp.*). Para usos locales, es común además la cosecha de hojas de guano (*Sabal sp.*), escobo (*Cryosophylla argentea*) y otras especies de usos medicinal, alimenticio, en curtiembre, etc. (Gálvez 1996).

A pesar de esta tradición de uso diversificado del bosque, las prácticas de aprovechamiento son hoy todavía eminentemente extractivas, sin consideración alguna por la sostenibilidad de la producción, y conducen a una desaparición de los recursos por sobreexplotación. La necesidad de encarar acciones verdaderas de manejo, orientadas a definir la cosecha permisible de cada recurso, es imperante. El proceso que conduce a tal definición requiere, entre otros elementos de juicio, conocer las existencias en el bosque de cada uno de los recursos de interés.

El presente trabajo muestra cómo diseñar un inventario forestal que proporcione información simultáneamente sobre productos maderables y no maderables de interés para el manejo diversificado de bosques, y discute la propuesta de diseño después de su aplicación a los bosques de la concesión comunitaria de San Miguel, Petén. Nace de la idea de que debiera ser más barato realizar en un solo proceso la estimación de los varios recursos de interés. Se desarrolla sobre la hipótesis de que, en un mismo inventario forestal es posible estimar, con un error de muestreo aceptable, el volumen de madera de las especies maderables y, a la vez, el producto de las especies no maderables bayal, xate, chicozapote y pimienta.

Metodología

La investigación constó de dos eventos bien diferenciados: el diseño del inventario y la aplicación de este diseño para inventariar los bosques de la concesión comunitaria de San Miguel [(consultar Pineda (1996) para los detalles de la investigación; en particular los fundamentos estadísticos)].

El proceso de diseño incluyó determinar la forma y tamaño de las unidades de muestreo, el tamaño de la muestra y su distribución en el campo. Luego, con las variables por medir identificadas, se elaboraron los formularios adecuados para levantarlas en el terreno.

Aceptando que para el propietario del bosque interesa básicamente una estimación confiable del volumen de madera de las especies de interés comercial, el diseño se orientó en primera instancia a: 1) estimar el volumen de madera de las especies de interés comercial con un nivel de error aceptado por el propietario; 2) brindar una imagen local del bosque aceptable en términos fitosociológicos; 3) estimar el volumen de madera del conjunto de todas las especies con el nivel de error que exige la ley (15%). En complemento, el

Diseño y Aplicación de un Inventario Forestal Diversificado (Productos Maderables y No Maderables) en Petén, Guatemala

Pedro Pineda¹
Daniel Marmillod²
Pedro Ferreira²

¹Escuela Nacional Central de Agricultura de Guatemala

²Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

¹ De acuerdo con datos de Cuarentena Vegetal del Ministerio de Agricultura de Guatemala, para 1991 y 1992, el xate produjo anualmente alrededor de US\$ 400 000 en divisas (SEGEPLAN 1992).

diseño consideró un juicio sobre regeneración de las especies arbóreas de interés comercial, aplicando el método de muestreo diagnóstico (Hutchinson 1993) en el cual también se miden los árboles aprovechables.

Por otro lado, tomando en cuenta que los habitantes de San Miguel extraen del bosque para comercialización cuatro productos de especies no maderables -hojas de xate, tallos de bayal, látex de chicozapote y frutos de pimienta-, el diseño del inventario se orientó a estimar las existencias de los mismos.

Sólo para xate y bayal fue necesario determinar el tamaño más adecuado de las unidades de muestreo para inventario. Cuando una especie se distribuye en forma aglomerada, es muy difícil establecer los límites de los aglomerados en el campo, por lo que los muestreos se realizan sin tomarlos en cuenta. Para minimizar el efecto que este patrón de distribución podría tener en el aumento de la varianza de la variable de interés en un muestreo sistemático o aleatorio, se recomienda que el tamaño de la parcela a utilizar en el inventario, sea el que presente el menor grado de aglomeración.

Para caracterizar la distribución espacial del xate, se utilizó la prueba de bondad de ajuste χ^2 . Se analizaron los patrones de distribución aleatoria y aglomerada, mediante la determinación de su ajuste a las distribuciones de probabilidad Poisson y Binomial Negativa, respectivamente. El análisis se hizo para los tamaños de subparcela 25, 50, 100, 200, 400, 600 y 1200 m².

Después de conocer el patrón de distribución espacial de los individuos en los diferentes tamaños de subparcela, se eligió el tamaño de parcela con menor grado de aglomeración mediante el valor de la varianza relativa del número de plantas. Este valor está en relación directa a la aglomeración, o sea que interesan los valores bajos.

Para el bayal se hizo el mismo análisis, solamente que para los tamaños de subparcela de 100, 200, 400, 800, 1600 y 2500 m².

Para las otras especies (todas árboles) se tomaron como base tamaños recomendados por estudios previos (CONAP 1995, Carrera 1995, Hutchinson 1993) y utilizados en inventarios ejecutados en la región (especies maderables de interés comercial: unidades de 20x500 m; todas las especies maderables, chicozapote y pimienta: unidades de 10x50 m; muestreo diagnóstico: unidades de 10x10 m). En aplicación de los principios enunciados, la muestra básica del inventario (número de parcelas principales (PP, 1 ha) por levantar) fue la definida para el grupo de las especies maderables de interés comercial². El diseño para estimar los otros productos tomó como base esa muestra y determinó la proporción de cada parcela principal donde debía muestrearse cada uno de ellos para respetar un error prefijado (número de subparcelas por PP)³.

Determinación del tamaño de muestra

⇒ especies maderables de interés comercial

² Número de parcelas requeridas para cumplir con un error aceptable de muestreo fijado *a priori* en 20%, calculado utilizando la información del inventario forestal de la Unidad de Manejo de La Pasadita (CONAP 1995).

³ Este procedimiento es un muestreo por conglomerado en dos etapas, descrito por Schaeffer, Mendenhall y Ott (1993), y ejemplificado para el bayal en Pineda *et al.* (1995)

$$n = \frac{4s^2}{\left(\frac{e\bar{y}}{100}\right)^2}$$

donde

n = número de parcelas principales (PP, 1 ha) a levantar
 e = error aceptable de muestreo en % {decisión *a priori*}

\bar{y} = media del volumen en m³ {resultados del ...}

s^2 = varianza en el volumen de madera {...premuestrero

⇒ todas las especies maderables

$$m = \frac{s^2}{n(\hat{v}(\bar{y})) - s_n^2 + \frac{s^2}{M}}$$

donde

m = número de subparcelas a levantar dentro de la PP

n = número de parcelas principales

M = número de subparcelas por parcela principal

s^2 = varianza dentro de parcelas {resultados del ...}

s_n^2 = varianza entre parcelas {... premuestrero

$\hat{v}(\bar{y})$ = varianza estimada de la media del volumen

calculada con base en el error

aceptable *a priori*

⇒ muestreo diagnóstico

$$n = \frac{\max_m z^2 \left(\frac{1}{m}\right) \left(1 - \frac{1}{m}\right)}{d^2}$$

donde

d = error de muestreo

m = entero que maximiza el numerador de la ecuación

z = función de $(1-\alpha)/2m$

n = número de parcelas principales

Por falta de información de premuestreo se decidió ejecutar el muestreo diagnóstico en fajas de 50 cuadrados, en un número de fajas igual que la muestra básica, de manera que después de la primera aplicación se contara con la información necesaria para calcular el número de cuadrados por faja requerido para que el peso relativo (área ocupada) de las condiciones de iluminación a las cuales están expuestos los deseables sobresalientes, cumpla con un error prefijado⁴ (optimización *a posteriori* de la propuesta de diseño).

Para el xate y para el bayal, se utilizó para determinar el tamaño de muestra el mismo procedimiento que para el conjunto de todas las especies maderables.

⁴ Si se conoce el número de fajas que se van a instalar, Thompson (1987) propone un método para determinar el error *a priori* del peso relativo de las condiciones de iluminación, basado en propiedades de la distribución multinomial y suponiendo una máxima varianza.

Análisis de la información del inventario y comprobación del diseño

- ⇒ volumen y área basal de especies comerciales
- media del volumen por ha

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

donde

\bar{y} = media del volumen o área basal por ha

n = número de parcelas de 1 ha

y_i = volumen o área basal en la i -ésima parcela de 1 ha

- estimación mínima significativa

$$\bar{y} - 1.64\sqrt{\hat{v}(\bar{y})}$$

donde

$\hat{v}(\bar{y})$ = varianza de la media estimada

- error de muestreo en porcentaje

$$e = \frac{1.64\sqrt{\hat{v}(\bar{y})}}{\bar{y}}$$

- ⇒ volumen y área basal de todas las especies

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij}}{nm}$$

donde

y_{ij} = volumen o área basal en la j -ésima subparcela de 10 m x 50 m de la i -ésima parcela de 1 ha

Posteriormente, de la misma manera que para el volumen y área basal de las especies comerciales, se calculó la estimación mínima significativa con un nivel de confianza de 0.95, y el error de muestreo.

- ⇒ muestreo diagnóstico

$$\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{nm}$$

donde

a_i = número de cuadros de 10 m x 10 m que presentan determinada iluminación o potencialmente productivos, en la i -ésima faja de muestreo diagnóstico

n = número de fajas

m = número de cuadros por faja

La comprobación del diseño se basó en una comparación del error de muestreo obtenido con el fijado *a priori* como aceptable, para cada uno de los productos.

Análisis de costos de la ejecución del inventario

Durante la aplicación del diseño propuesto se registró, además de las variables de productos, la información necesaria para el cálculo de los costos del inventario. Se consideraron costos fijos y costos variables de los rubros: ubicación con GPS, apertura de brechas, trazo de parcelas, medición de individuos y procesamiento de información.

El análisis se hizo para varios escenarios, considerando situaciones de muestreo de los varios productos por separado e integrados:

- muestreo solamente de las especies arbóreas
- sólo el muestreo diagnóstico
- muestreo únicamente de las especies xate y bayal
- especies arbóreas, xate y bayal
- especies arbóreas y muestreo diagnóstico
- especies arbóreas, muestreo diagnóstico, xate y bayal

Resultados

Tamaño de las unidades de muestreo de xate y bayal

La población de xate presenta una distribución espacial en agregados en parcelas de 25 a 1200 m². Aplicando el criterio del mínimo de la varianza relativa, el tamaño óptimo de la unidad de muestreo es 25 m²; por razones prácticas, decidimos usar unidades de 50 m², alternativa que no implica un aumento sustancial del coeficiente de variación de la media.

La población de bayal muestra un comportamiento similar, con una distribución en agregados en parcelas de 100 a 2500 m². Aplicando el criterio del mínimo de la varianza, el tamaño óptimo de la unidad de muestreo es 100 m², superficie que adoptamos para fines de diseño del inventario.

Diseño del inventario

Para cumplir con errores aceptables *a priori* (meta del inventario) en el volumen maderero (20% en árboles con dap \geq 25 cm de las especies maderables de interés comercial y 15% en todas las especies maderables), y en el número de árboles aprovechables no maderables (23% en chicozapote⁵ y 21% en pimienta), es necesario instalar en los bosques de la concesión comunitaria de San Miguel (6300 ha):

- ▶ 32 parcelas principales de 20x500 m (1 ha) para el muestreo diversificado (árboles y productos no maderables xate y bayal), en las cuales se medirán los individuos de:

⁵ Los conocimientos en la literatura sobre producción de chicozapote y pimienta se dan por árbol (CATIE 1994, CONAP 1995), por lo que se decidió expresar el error por número de árboles productivos.

- las especies arbóreas de interés comercial (maderables y no maderables⁶) con $dap \geq 10$ cm en toda la parcela
- todas las especies arbóreas con $dap \geq 10$ cm en 5 subparcelas de 10×50 m⁷
- xate en 10 subparcelas de 5×10 m
- bayal en 10 subparcelas de 10×10 m.

Con estas 32 parcelas, el error esperado en la estimación del número de hojas aprovechables de xate y el largo de tallos aprovechables de bayal ascendía a más de 35%, lo que fue considerado inaceptable. Para cumplir con un error inferior a 30% (xate: 27%, bayal: 28%), es necesario instalar:

► *en suplemento 15 parcelas principales para el muestreo exclusivo de xate y bayal⁸*, aplicando el diseño anterior (10 subparcelas de 5×10 y 10×10 m respectivamente).

Al instalar una faja de muestreo diagnóstico en cada uno de los 32 puntos que constituyen la muestra básica, el error esperado en la estimación del peso relativo (área ocupada) de las condiciones de iluminación en las que se encuentran los deseables sobresalientes ascendía a 20%, aplicando Thomson (1987). Consideramos esta meta *a priori* aceptable, por lo que se instalarán:

► *32 fajas de muestreo diagnóstico*, dividiendo cada una en 50 unidades de 10×10 m. En cada unidad, se elegirá al deseable sobresaliente y se medirán los árboles aprovechables de las especies de interés comercial (maderables y no maderables).

La parcela principal de muestreo diversificado y la faja de muestreo diagnóstico forman una unidad en forma de L, y están unidas en la base. Se distribuyen en las esquinas de una malla de $1,5 \times 1,5$ km, mientras que las parcelas suplementarias de muestreo de xate y bayal se ubican en medio de los transectos este-oeste que unen las esquinas de la malla.

Comprobación de la propuesta de diseño

Los resultados de la aplicación del diseño en los bosques de San Miguel muestran en general errores obtenidos menores a los predefinidos -aquellos que sirvieron de base al diseño (Cuadro 1, ver al final de esta exposición)-, lo que

⁶ Para lograr un error aceptable (por lo menos inferior a 25%) en la estimación de la producción de chicle y pimienta gorda, fue necesario contemplar la medición de las poblaciones de estas especies en toda la parcela principal (10000 m²), y no sólo en una submuestra como se pretendía en la metodología.

⁷ Para cumplir con el error de 15 % sobre volumen maderero de los individuos con $dap \geq 25$ cm de todas las especies exigido por ley, fue necesario en el presente caso prever instalar 5 subparcelas. Sin embargo, aún si el requerimiento hubiese sido menor, hubiéramos mantenido este número, ya que para brindar una imagen localmente aceptable del bosque en términos fitosociológicos, una parcela donde se levantan todos los individuos con $dap \geq 10$ cm debe tener un área mínima de 2500 m² (Gálvez 1996).

⁸ Para disminuir el error, se reveló más eficiente aumentar el número de parcelas principales que aumentar el número de subparcelas en las PP de la muestra básica (aún muestreando los 10000 m² de cada una de las 32 PP no habría disminuido el error por debajo de 30% en el caso del xate).

sugiere que hubiera sido posible cumplir con los errores metas del diseño con menos parcelas de muestreo. Así, la confiabilidad requerida por ley en la estimación del volumen maderero de todas las especies (error de 15%) hubiera podido ser alcanzada instalando solo 18 parcelas, en vez de las 32 que representaría menos de la mitad de las parcelas propuestas por Carrera (1995) para inventarios forestales en unidades de 5000 ha de la Reserva de la Biosfera Maya.

Sin embargo, y como se indicó en la metodología, el cumplimiento de los requisitos legales no es lo principal en un inventario para manejo diversificado de los bosques; importa más la estimación confiable de los productos de interés, entre otros el volumen de madera de las especies comerciales. Es en este contexto que debe analizarse el resultado anterior. Al disminuir a 18 parcelas la muestra básica, el error sobre este último producto hubiera alcanzado 19%, lo que queda inferior al considerado como aceptable, y el error sobre el volumen maderero de los árboles aprovechables hubiera ascendido a 29%. Por otro lado, para mantener los errores en xate y bayal, sería necesario instalar 29 parcelas principales suplementarias, en vez de 15. Esta propuesta alternativa es seductora, y probablemente la más eficiente para San Miguel, específicamente.

Los resultados del muestreo diagnóstico indican que 77% de los deseables sobresalientes están mal iluminados (categorías 4 y 5). En todas las categorías de iluminación, el error de muestreo fue menor a 7%, muy inferior al prefijado el método de Thomson (1987), al asumir una varianza máxima, conduce a sobrevaluar el número de parcelas requeridas. Para cumplir con el error prefijado de 20%, hubiera bastado instalar fajas de 18 cuadrados, en vez de 50. Esta reducción tendría, sin embargo, consecuencias sobre la confiabilidad de la estimación del volumen maderero de los árboles aprovechables.

En un contexto de generalización de la aplicación del diseño, los resultados del inventario sugieren también que los bosques de San Miguel son más homogéneos que los de La Pasadita -cuya información fue tomada como nuestro "pre-muestreo"-, lo que plantea la pregunta de su representatividad para El Petén. Tomando en consideración que San Miguel tiene una extensión equivalente a un tercio de la superficie de La Pasadita, la pregunta anterior no es tan fácil de contestar: ¿No será más homogénea porque es más pequeña, y por lo tanto pudiera ser representativa de unidades de manejo de tamaño similar? No es objetivo del presente trabajo resolver esta cuestión, que pone en tela de juicio la práctica de recomendar una muestra básica para 5000 hasta 100000 ha con base en el estudio de una única área.

Conclusiones

El presente trabajo demostró que es factible desarrollar inventarios que permitan estimar de manera estadísticamente confiable los productos no maderables de interés en el bosque; inventarios que no se limitan a la estimación de un número de individuos, sino que realmente determinan la cantidad de producto aprovechable. La aplicación de tales inventarios en unidades de manejo pone en evidencia las limitaciones de la práctica convencional para estimar la cantidad de producto aprovechable no maderable, que suele conducir a sesgos.

La priorización para el diseño de la confiabilidad en la estimación del volumen maderero de las especies comerciales, y no del de todas las especies arbóreas como es lo convencional, permitió bajar el diámetro mínimo de medición a 10 cm en toda la unidad de muestreo, reduciendo el levantamiento de los individuos de todas las especies arbóreas a un cuarto de tal unidad. Se ganó así precisión en la estimación de las maderables de interés comercial, a menor costo, y sin descuidar el conocimiento de todo el bosque. Otra mejora para estimar número y volumen de los árboles aprovechables de las maderables de interés comercial resultó de la integración del muestreo diagnóstico y del inventario maderable en la unidad básica de muestreo, dos actividades que se realizan convencionalmente sin ninguna coordinación.

En relación con el muestreo diagnóstico -herramienta silvicultural por excelencia-, la presente investigación demostró que es factible calcular el error de muestreo en la estimación del peso relativo de las condiciones de iluminación en las que se encuentran los deseables sobresalientes, lo que permitirá en futuros diseños determinar el número de cuadrados que deberán levantarse en la unidad básica de muestreo para cumplir con un error aceptado por el silvicultor. El enfoque novedoso de considerar como especies arbóreas de interés no sólo a las maderables, sino también a las no maderables (chicozapote y pimienta) y a las mal llamadas "vedadas" -ya que estos dos grupos de especies ocupan realmente un espacio en producción- permitió ganar una visión más objetiva de la situación de la regeneración de interés.

Realizar el inventario simultáneamente para más de un producto costó menos, en comparación a si se hubiera hecho por separado. La aplicación del diseño descrito aquí, diseño diversificado con muestreo diagnóstico, costó US\$ 0,39 por ha: US\$ 0,15 más que un inventario forestal convencional, pero US\$ 0,30 menos que si se hubieran hecho por separado el inventario forestal, el censo del xate y bayal y el muestreo diagnóstico.

Bibliografía

- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1994. Plan de manejo forestal para la Unidad de Manejo San Miguel, El Petén, Guatemala. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Documento de trabajo Olafo 9. 27 p.
- Carrera, F. 1995. Guía para la planificación de inventarios forestales en la zona de usos múltiples de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica-Informe técnico 275. 40 p.
- Consejo Nacional de Areas Protegidas. 1995. Plan de manejo forestal para la Unidad de Manejo La Pasadita, San Andrés, Petén, Guatemala. Guatemala, CONAP. 111 p.
- Galvez, J. 1996. Elementos técnicos para el manejo forestal diversificado de bosques naturales tropicales en San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 163 p.
- Hutchinson, I. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques del Trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica-Informe técnico 204. 32 p.
- Pineda, P.; Marmillod, D.; Ferreira, P.; Ocampo, R. 1995. Elementos de muestreo para el diseño de un inventario del bayal (*Desmoncus* spp.) en el bosque petenero. In: Semana científica (2., 1995, Turrialba, Costa Rica). Resúmenes. Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 103-107.
- Pineda, P. 1996. Diseño y aplicación de un inventario forestal diversificado (productos maderables y no maderables) en Petén. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 116 p.
- Schaeffer, R.; Mendenhall, W.; Ott, L. 1993. Elementos de muestreo. Trad. G. Rendon y J.R. Gómez. México, Grupo Editorial Iberoamérica. 321 p.
- Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica. 1992. Plan de desarrollo integrado de Petén: documento de actualización sobre estudios de xate. Santa Elena Petén, Guatemala, SEGEPLAN. 137p.
- Thompson, S. 1987. Sample size for estimating multinomial proportions. The American Statistician (USA) 41(1): 42-46.

Anexo

Cuadro 1: Principales resultados del inventario 1996 de los bosques de la concesión comunitaria de San Miguel, Petén, Guatemala.

producto/variable	Media /ha	Error obtenido %	error prefijado %
todas las especies maderables:			
volumen maderero de árboles con dap \geq 25 cm	34 m ³	11	15
área basal de árboles con dap \geq 10 cm	20 m ²	8	
especies maderables comerciales*:			
volumen maderero de árboles con dap \geq 25 cm	6,3 m ³	14	20
volumen maderero de árboles aprovechables**	3,4 m ³	21	
área basal de árboles con dap \geq 10 cm	2,3 m ²	15	
chicozapote: chicle (látex cocinado)	9 kg	17	23
pimienta: frutos secos	0,1 kg	31	21
xate: número de hojas aprovechables	272	20	27
bayal: largo de tallos aprovechables	890 m	28	28

*caoba, cedro, amapola, santa maría, jobillo, malerio blanco, malerio colorado, canxán, cola de coche, danto, manchiche

**los árboles aprovechables son para caoba y cedro aquellos individuos con dap \geq 60 cm, y para las otras especies maderables de interés, los con dap \geq 45 cm.

BIBLIOGRAFIA

1. Cochran G. William. *Técnicas de Muestreo*. Editorial CECSA.
2. Des Raj. *La estructura de Encuestas por Muestreo*. Fondo de Cultura Económica
3. Kish Leslie. *Muestreo de Encuestas*. Editorial TRILLAS

EVALUACION DEL TAMAÑO DE LA PARCELA EN INVENTARIOS FORESTALES POR MUESTREO

Ing. Arturo Rubio Donet

RESUMEN

La investigación comprende a una prueba experimental sobre el tamaño de parcela que sería recomendable utilizar para realizar inventarios forestales por muestreo en zonas forestales de algarrobo con regeneración inducida, ubicadas en la localidad de Mocupe del departamento de Lambayeque; los tamaños de parcelas que se han experimentado son: 100 m² , 225 m² , 400 m² y 625 m². Asimismo, se determina el número de parcelas que podría ser consideradas como tamaño de la muestra representativa para el inventario forestal.

SUMMARY

The investigation comprehends an experimental prove about the parcel's size that can be used in forestal inventories by sampling at algarrobo's plantations with induced regeneration, this zones are situated in the locality of Mocupe at the department of Lambayeque; the parcel's sizes that have been proved are: 100 m² , 225 m² , 400 m² y 625 m². Also, it's determined the number of parcels that could be considered as the representative size of the sample for the forestal inventory.

INTRODUCCION

Al realizar inventarios forestales utilizando el muestreo probabilístico como método de selección de muestras representativas, inevitablemente surgirán las interrogantes: ¿Qué tamaño de parcela utilizar para realizar el inventario?, y ¿Cuántas parcelas serán seleccionadas como muestra representativa de área forestal?. Para dar respuesta a estas interrogantes se deberá tener presente el alcance y naturaleza específica de cada área forestal así como el tipo de bosque que se está evaluando, considerando tanto su distribución espacial como la naturaleza de la plantación correspondiente.

La presente investigación analiza estas dos interrogantes para el caso exclusivo de áreas forestales de algarrobo con regeneración inducida ubicadas en el distrito de Mocupe del departamento de Lambayeque donde se experimentaron cuatro tipos de parcelas en un inventario por muestreo para evaluar la regeneración inducida de algarrobo. Los tamaños de estas parcelas que se evaluaron fueron: 100m² , 225m² , 400m² ó 625m².

Se denomina regeneración inducida a la practica de realizar plantaciones de algarrobo a través de sembríos planificados en zonas de aptitud forestal debidamente probada y que deben ser evaluadas permanentemente con fines de seguimiento y monitoreo de los resultados alcanzados.

METODOLOGIA

Para la realización de inventarios forestales por muestreo con mucha frecuencia se utiliza parcelas de un tamaño determinado como unidad de muestreo; una vez definido el tamaño de la parcela, se elegirá una muestra probabilística de estas parcelas y en cada una de ellas se realiza el inventario total de las especies forestales que son objetivo del

estudio. Por tanto, la primera pregunta por absolver se referirá al tamaño de la parcela que se utilizará; una vez absuelta esta consulta, la segunda interrogante se referirá al número de parcelas a elegir como muestra representativa del área forestal.

Para evaluar el tamaño de la parcela, debe analizarse el coeficiente de correlación dentro de la parcela como indicador del grado de homogeneidad de la información objetivo dentro de ella; este coeficiente es definido como(1):

$$\rho = \frac{E(y_{ij} - \bar{y})(y_{ik} - \bar{y})}{E(y_{ij} - \bar{y})^2} = \frac{2 \sum_i \sum_{j < k} (y_{ij} - \bar{y})(y_{ik} - \bar{y})}{(M-1)(NM-1)S^2}$$

Donde

$$S^2 = \frac{\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y})^2}{NM-1} \quad \text{Variancia entre elementos}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i \sum_j y_{ij}}{NM} \quad \text{Promedio por Elemento}$$

En general, cuando el tamaño de la parcela (M) es pequeño el coeficiente de correlación dentro de la parcela será alto como indicador que hay un alto grado de homogeneidad, esto debido a que los elementos de parcelas pequeñas son muy semejantes por el hecho de estar contiguos. Contrariamente, conforme el tamaño de la parcela aumenta los elementos dentro de la parcela serán menos semejantes, por tanto, el coeficiente de correlación disminuirá indicando que hay menor homogeneidad dentro de la parcela debido a que los elementos contenidos dentro de la parcela serán más heterogéneos.

En varios reconocimientos agrícolas se ha determinado que la variancia dentro de la parcela puede ser expresada como función del tamaño de la parcela a través de la relación siguiente:

$$S_w^2 = AM^g \quad \text{donde } g > 0$$

En esta función es más evidente cuando hay una clara tendencia a registrar una influencia de los fenómenos naturales sobre elementos contiguos, como es el caso del clima, suelo, topografía, acceso al recurso hídrico, etc. Como resultado de esta influencia, los elementos vecinos serán semejantes y los elementos distantes serán heterogéneos, como es el caso de las plantaciones forestales del algarrobo

Si en el universo bajo estudio existe N parcelas y de ellas se elige una muestra simple al azar de n parcelas, conteniendo M elementos cada una, la variancia del promedio por elemento puede ser aproximada como (2):

$$V(\bar{y}) \approx \frac{1-f}{nM} S^2 [1 + (M-1)\rho] = \frac{1-f}{nM} S^2 [\text{Efecto Diseño}]$$

Es esta relación se puede apreciar que si el coeficiente de correlación es positivo y alto se genera un alto efecto de diseño y la variancia del promedio aumentará significativamente respecto a una muestra simple aleatoria de elementos tornándose menos eficiente el muestreo de parcelas. Asimismo, si el tamaño de la parcela (M) es muy alto también habrá un alto efecto de diseño. Por lo expuesto, el tamaño de la

parcela se determinará evitando generar tanto altas correlaciones dentro de la parcela como valores de M que eleven al efecto de diseño

Para responder a la interrogante referida al número de parcelas que deberán elegirse para realizar el inventario forestal de la zona se utilizaría la relación siguiente (3):

$$n_o = \frac{s_a^2}{s_o^2} \qquad n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$$

n_o = Tamaño de muestra preliminar

n = Tamaño de muestra definitivo

s_a^2 = Variancia entre parcelas

s_o^2 = Variancia deseada

N = Tamaño de la población

Con el fin de probar los distintos tamaños de parcela que podrían ser utilizados en un inventario forestal en las áreas forestales de algarrobo con generación inducida ubicadas en la localidad de Mocupe del departamento de Lambayeque, en 10 hectáreas y para cada uno de los tamaños de parcela experimentales, se eligieron al azar una muestra de 23 parcelas en las cuales se realizó el inventario de plantas de algarrobo. En cada parcela seleccionada se contó el número de hoyos con plantas de algarrobo, el número de plantas en cada hoyo y las correspondientes alturas de cada planta de algarrobo. Paralelamente, con fines de evaluación de resultados, se realizó un inventario general por enumeración completa de las plantas de algarrobo en las 10 hectáreas seleccionadas para esta investigación.

Las parcelas que se eligieron fueron de forma cuadrada considerando la facilidad de su diseño, ubicación y delimitación en el terreno respecto a otras formas alternativas como circulares, triangulares, etc. asimismo, se evaluaron parcelas cuadradas cuyos tamaños son: 100m², 225m², 400m² y 625m². Para cada tamaño de parcela se determinaron los efectos de diseño resultantes referidos a las variables siguientes:

- Número de hoyos con plantas germinadas en la parcela
- Número de plantas germinadas en la parcela
- Altura de las plantas germinadas.

La recopilación de los datos de cada parcela fue supervisada con el fin de garantizar la cobertura y calidad de la información a procesar.

DISCUSION DE RESULTADOS

Tamaño de la Parcela

Con el fin de apoyar a la toma de decisiones sobre la elección de un tamaño de parcela en inventarios forestales correspondientes a una regeneración inducida de Algarrobo en áreas de Mocupe, en el cuadro 1 se presentan los indicadores referidos al efecto de diseño correspondientes a cada tamaño y para cada una de las variables investigadas.

Cuadro 1

Efecto del diseño según tipo de parcela para estudiar las variables: Número de hoyos, número de plantas y altura de las plantas de Algarrobo.

Tipo de parcela	Efecto de Diseño estimado EFD = $[1 + (M-1) \cdot r]$		
	Número de hoyos con plantas	Número de plantas germinadas	Altura de las plantas germinadas
10x10 m.	1.40	2.50	0.72
15x15 m.	3.32	1.96	1.72
20x20 m.	4.45	2.95	2.05
25x25 m.	7.48	3.16	1.72

Se aprecia que la parcela 10x10 (100 m²) registra el menor efecto de diseño para investigar tanto el número de hoyos con plantas germinadas como para la altura de las mismas, por tanto, esta parcela sería la mejor alternativa para realizar inventarios en este tipo de suelos y para este tipo de regeneración.

Número de parcelas para inventarios por muestreo para regeneración inducida

A fin de establecer al número de parcelas a investigar en bosques cuyo suelo tiene similares características a los de Mocupe, se determinaron las variancias entre parcelas para cada tipo de parcela experimentada; a través de este indicador se determinó el tamaño de muestra que sería requerido en cada caso. De acuerdo con la relación utilizada para determinar el tamaño de la muestra, se puede apreciar que en bosques cuyas áreas sean mayores a 1000 hectáreas el tamaño de muestra preliminar coincide con el tamaño de muestra definitivo. En el cuadro 2 se presentan las variancias entre parcelas que se encontraron para el trabajo experimental que se realizó en la localidad de Mocupe tomando 23 repeticiones para cada tamaño de parcela.

Cuadro 2.

Variancias entre parcelas según tamaño de la misma para estudiar las variables: Número de hoyos, número de plantas y altura de las plantas de Algarrobo.

Tipo de parcela	Variancia entre parcelas (s^2_a)		
	Número de hoyos con plantas	Número de plantas germinadas	Altura de las plantas germinadas
10x10 m.	0.08	0.91	48.68
15x15 m.	0.08	0.60	44.56
20x20 m.	0.06	0.51	31.19
25x25 m.	0.07	0.31	16.24

A continuación se establecieron los márgenes de error de muestreo que podrían admitirse en el inventario forestal, este valor está expresado en términos de desviación estándar para cada una de las variables que se desea investigar (elevando al cuadrado este índice obtendremos la variancia deseada)

Cuadro 3.

Márgenes de error deseados con fines de establecer el tamaño de muestra para estudiar las variables: Número de hoyos, número de plantas y altura de las plantas de Algarrobo en la regeneración inducida.

	Número de hoyos con plantas	Número de plantas germinadas	Altura de las plantas germinadas
Error estándar	0.024	0.14	1.25
	3 Hoyos /Ha	14 Plantas/Ha	1.25 cm

Aplicando la relación expuesta anteriormente, en el cuadro 4 se presentan los tamaños de muestra preliminares que serían aplicados a bosques cuyos suelos tengan las mismas condiciones de la regeneración inducida que se apreciaron en la localidad de Mocupe. Estos tamaños de muestra serían los definitivos para áreas cuya extensión sea mayor a las mil hectáreas

Cuadro 4.

Tamaños de muestra requeridos según tipo de parcela para estudiar las variables: Número de hoyos, número de plantas y altura de las plantas de Algarrobo en la regeneración inducida.

Tipo de parcela	Número de parcelas requeridas		
	Número de hoyos con plantas	Número de plantas germinadas	Altura de las plantas germinadas
10x10 m.	139	46	31
15x15 m.	139	31	28
20x20 m.	104	26	20
25x25 m.	122	16	10

CONCLUSIONES

A través de los resultados expuestos anteriormente se podrían considerar las conclusiones siguientes:

- Los coeficientes de correlación dentro de las parcelas son de naturaleza específica tanto para cada tipo de bosque como para cada tipo de variable a investigar en un inventario forestal, por tanto, es importante considerar que en cada área forestal se debe evaluar el comportamiento del tamaño de la parcela que se utilizó para realizar el inventario forestal.
- Podría llevarse a cabo investigaciones similares que permitan evaluar otras formas de parcelas tales como: circular, triangular, etc.
- Para evaluar la regeneración inducida del Algarrobo en zonas cuyas áreas sean mayores a 400 hectáreas y suelos similares a Mocupe se podría utilizar una muestra de 139 parcelas con dimensiones 100m² (parcelas cuadradas de 10 por 10 metros)