



United States  
Department of  
Agriculture



Forest Service

**Southern Forest  
Experiment Station**

New Orleans,  
Louisiana

General Technical Report  
SO-1 13  
November 1994

# Remote Sensing for Tropical Forest Assessment

## Evaluación de Bosques Tropicales Utilizando la Técnica Telesensorial



# **Remote Sensing for Tropical Forest Assessment**

## **Evaluación de Bosques Tropicales Utilizando la Técnica Telesensorial**

Proceedings of a Workshop  
April 8-12, 1991  
San Juan, Puerto Rico

Compiled by A. J. R. Gillespie

Sponsored by

U.S. Department of Agriculture  
Forest Service  
Institute of Tropical Forestry

and

United Nations Food and Agriculture Organization



## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                  | Page |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>LIST OF CONTRIBUTORS</b>                                                                                                                                                                      | i    |
| LETTER TO DR. K.D. SINGH                                                                                                                                                                         | ii   |
| EVALUACION DE BOSQUES TROPICALES UTILIZANDO<br>LA TECNICA TELESENSORIAL                                                                                                                          | 1    |
| REMOTE SENSING FOR TROPICAL FOREST ASSESSMENT                                                                                                                                                    | 2    |
| PLAN <b>PARA</b> ACTUALIZAR EL INVENTARIO NACIONAL<br>FORESTAL DE MEXICO<br>Miguel <b>Ruíz</b> Altamirano                                                                                        | 3    |
| STRATEGIES FOR GLOBAL MONITORING OF TROPICAL FORESTS<br>Raymond L. Czaplewski                                                                                                                    | 10   |
| METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING AVHRR DATA:<br>CALIBRATING AVHRR DATA WITH <b>LANDSAT</b><br>Louis R. Iverson, Robin L. Graham, and Elizabeth A. Cook                                            | 20   |
| USE OF REMOTELY SENSED DATA FOR THE ASSESSMENT AND<br>MONITORING OF TROPICAL FORESTS<br>Armond T. Joyce                                                                                          | 22   |
| ESTIMATING POTENTIAL TROPICAL FOREST BIOMASS OVER<br>SOUTH/SOUTHEAST ASIA<br>Louis R. Iverson, Sandra Brown, and A. Prasad                                                                       | 24   |
| USING REMOTELY SENSED DATA AND GIS TO MAP HURRICANE<br>DAMAGE IN TROPICAL FORESTS<br>William T. Lawrence                                                                                         | 25   |
| ESTABLISHING A PROTOCOL FOR GLOBAL POSITIONING IN<br>TROPICAL FOREST ENVIRONMENTS<br>Gilbert L. Rochon and William G. Cibula                                                                     | 35   |
| <b>Apéndice 1 - PROCEDIMIENTO DE INTERPRETACION Y<br/>RECOPIACION DE DATOS DE SATELITE DE ALTA RESOLUCION<br/>PARA EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL Y EL CAMBIO<br/>DE LA CUBIERTA FORESTAL</b> | 38   |
| INFORMES DE <b>GRUPOS</b>                                                                                                                                                                        | 73   |
| LIST OF ATTENDEES                                                                                                                                                                                | 82   |



## LIST OF CONTRIBUTORS

Brown, Sandra  
Department of Forestry  
University of Illinois at Champaign-Urbana  
1301 West Gregory  
Champaign, IL 61820 U.S.A.

Cibula, William G.  
Science and Technology Laboratory  
John C. Stennis Space Center  
Stennis Space Center, MS 39529 U.S.A.

Cook, Elizabeth A.  
Illinois Natural History Survey  
University of Illinois at Champaign-Urbana  
607 East Peabody Drive  
Champaign, IL 61820 U.S.A.

Czaplewski, Raymond L.  
USDA Forest Service  
Rocky Mountain Forest and Range  
Experiment Station  
240 West Prospect St.  
Fort Collins, CO 80526 U.S.A.

Graham, Robin L.  
Environmental Sciences Division  
Oak Ridge National Laboratory  
Oak Ridge, TN 37830 U.S.A.

Iverson, Louis R.  
Illinois Natural History Survey  
University of Illinois at Champaign-Urbana  
607 East Peabody Drive  
Champaign, IL 61820 U.S.A.

Joyce, Armond T.  
Science and Technology Laboratory  
John C. Stennis Space Center  
Stennis Space Center, MS 39529 U.S.A.

Lawrence, William T.  
NASA/Goddard Space Flight Center  
Biospheric Sciences Branch  
Code 923  
Greenbelt, MD 20771 U.S.A.

Prasad, Anantha  
Illinois Natural History Survey  
University of Illinois at Champaign-Urbana  
607 East Peabody Drive  
Champaign, IL 61820 U.S.A.

Rochon, Gilbert L.  
Remote Sensing and GIS Laboratory  
Dillard University  
New Orleans, LA 70122 U.S.A.

Ruiz Altamirano, Miguel  
Dirección General de Protección Forestal  
Ave. Progreso No. 5  
Col. Del Carmen, Coyoacan  
Mexico, DF - Mexico

San Juan, Puerto Rico  
12 de **abril** de 1991

Dr. K. D. Singh, Coordinador  
Proyecto de **Evaluación** de Recursos Forestales 1990  
**Organización** de las Naciones Unidas **para** la  
**Alimentación** y la **Agricultura**  
Roma, Italia

Estimado doctor Singh:

Los representantes de **los** países latinoamericanos **partícipes** de **los** esfuerzos **para** la **evaluación** de **los** recursos forestales actualmente en **ejecución** por su **organización**, queremos poner a su **consideración** la siguiente propuesta **como** una forma de alcanzar mejor **los** objetivos propuestos:

1. Coincidimos con la necesidad imperiosa por la continuidad de este tipo de evaluacdn de **los** recursos forestales **cada** dos **años** en **cada** país representado en este **evento**, pues **los** cambios que han ocurrido en las existencias forestales son muy **dinámicos** y en **períodos** de muy **poco** tiempo.
2. Se considera **como** necesidad imperiosa la **implementación** de un Centro de Sensores Remotos con una estructura minima adecuada en **cada** uno de nuestros **países** a **través** de convenios de **implementación** **para** un **mínimo** de dos años en **cada** país representado y que incluya **equipo** ("hardware/software"), entrenamiento **continuo**, y que se fortalezcan **técnicamente** **los** centros existentes.
3. Luego de establecer **los** centros, que se implemente una red interconectada de **información** **geográfica** georeferenciadas debosques de **los** países latinos y centroamericanos y el uso de metodologías adecuadas **para** todos.
4. Establecer acuerdos con instituciones internacionales **para** desarrollar tecnologías **para** la **actualización** **periódica** de **los** **avances** de las técnicas de **investigación** con el uso de **sensores** remotos.
5. Con la finalidad de **atender** **los** acuerdos **del** **Pacto Amazónico**, proponemos **hacer** una **evaluación** **conjunta** de toda la cuenca **amazónica** con **participación** y **colaboración** de todos **los** países involucrados. Este **sería** **el** primer trabajo prdctico **para** iniciar la **implementación** y **calibración** del **Banco** de Datos en la red de **información** forestal propuesta en **el** punto 2.

Badndonos en estas propuestas de importancia **para** la **evaluación** forestal a nivel global, estamos todos esperando su **contestación**.

Atentamente,

Javier Anduaga, **Perú**  
Sergio Almeida, Brasil  
**Carlos** Molina, Colombia  
Linda **Vélez**, Puerto Rico  
Edgar Otavo, Colombia  
Cirineu Jorge L., **Brasil**  
**Rodolfo** Taboada, **Perú**  
Miguel **Ruiz**, **México**  
**Artemio** **Ramírez**, Guatemala

Estrella **Fernández**, Venezuela  
William **Rondón**, Venezuela  
Facundo **Recalde**, Paraguay  
Guillermo **Ortíz**, Ecuador  
Roberto **Sánchez**, Ecuador  
Javier **Saborio**, Costa Rica  
**Gerónimo** Grimaldes, Bolivia  
Mario **Rivera**, Bolivia

## **EVALUACION DE BOSQUES TROPICALES UTILIZANDO LA TECNICA TELESENSORIAL**

8-12 de abril de 1991  
San Juan, Puerto Rico

El **propósito** de este taller fue **promover** la **difusión** de **información** entre expertos **procedentes** de **América Latina**, Estados Unidos y la FAO, sobre metodología innovadora **relacionada** con **técnicas** telesensoriales en **áreas** forestales. Se **estudió** la viabilidad de que FAO pueda incorporar eficazmente esta tecnología **para** estimar cobertura forestal conjuntamente con **los** inventarios de **los** bosques nacionales. El taller **incluyó** numerosas presentaciones de actividades en progreso, **como** **también** generó ideas acerca de **posibilidades** **para** sostener y **promover** nuestra capacidad **para** sondear cambios forestales a **través** de **información** telesensoriada.

Los procedimientos incluyeron varios temas de interés. Algunos de **los** disertantes **suministraron** versiones escritas de sus presentaciones, las cuales **están** incluidas. En **adición**, **existen** varias **páginas** con **notas** sobre **los** debates acerca de **los** temas **centrales** de **discusión** presentados por **los** cuatro grupos de trabajo en **los** cuales se dividieron los participantes. Algunos delegados de **América Latina** facilitaron una **carta** con sugerencias sobre el **curso** a **seguir** **para** mejorar el empleo de sistemas telesensoriales **para** condiciones forestales.

Esperamos que estos procedimientos **sean** de ayuda y **sirvan** de base **para** mejorar la calidad y el alcance del **producto** de trabajos **telesensoriados** en toda **América Latina**.

## REMOTE SENSING FOR TROPICAL FOREST ASSESSMENT

April 8-12, 1991  
San Juan, Puerto Rico

The purpose of this workshop was to allow remote sensing experts from Latin America, the U.S.A., and FAO to discuss state-of-the-art methodology in remote sensing of forest environments, and to develop plans on how to better incorporate this technology into FAO and national forest inventory efforts. The workshop included numerous presentations of ongoing activities, as well as discussion of possibilities for sustaining and improving our ability to monitor forest change through remotely sensed data.

These proceedings include several items of interest. Some of the presenters chose to submit

written versions of their presentations, which are included. There are also several pages of notes from four working groups assigned to debate various relevant issues, as well as a letter from several of the Latin American delegates expressing their suggestions of actions needed to improve the use of remote sensing of forest conditions.

We hope that these proceedings will serve as a reminder and as a starting point for the continued improvement of remote sensing capabilities and products throughout Latin America.

# PLAN PARA ACTUALIZAR EL INVENTARIO NACIONAL FORESTAL DE MEXICO

Miguel Ruiz Altamirano

**RESUMEN:** En este trabajo se **presenta** una panoramica de **los** esfuerzos que realiza Mexico **para** actualizar **su** Inventario **Nacional** Forestal. Se proporciona **información** sobre las características **del** primer Inventario **Nacional** Forestal, sobre **los antecedentes** para actualizar la **información** obtenida a **través del** anterior, sobre la forma **como** se pretende realizar esta actualización y la **cooperación** con otras instituciones y organizaciones, y sobre **los** logros alcanzados a la **fecha**.

## INTRODUCCION

**El Primer** Inventario Nacional Forestal (INF) se **realizó** de 1960 a 1985 y **su** desarrollo **requirió** de cuantiosos recursos **financieros**, humanos y materiales. Los trabajos se llevaron a **cabo** a nivel estatal, iniciándose por **los** estados de mayor importancia comercial-industrial (Chihuahua, Durango, Sonora, Quintana Roo). Este INF se **inició** a base de un convenio de **cooperación** con la FAO (1961-1965) y **después** fue concluido por la entonces **Dirección General del Inventario Nacional Forestal**. Los resultados obtenidos se plasmaron en 29 reportes **técnicos** de **cada uno de los** estados de Mexico y en las 1425 **cartas** forestales elaboradas a escala 1:50,000 y 1:100,000.

Debido a que a la fecha han transcurrido **cerca de 30 años** desde que se **inició** este primer INF, la **información** aportada por **éste** debe ser actualizada y complementada a base de un nuevo INF, **para** que pueda ser utilizada con **propósitos** de **planeación nacional** y regional. Esta **información** actualse requiere **para diseñar** políticas adecuadas a base de **las** cuales puedan derivarse y ejecutarse planes y programas forestales, que permitan conservar e incrementar la **cuantía** y calidad de **los** recursos forestales, **así como** aquellos que **sirvan** de apoyo **para** la ordenación y el **manejo** de las cuencas hidrográficas y el incremento de la **producción** maderable.

Actualmente el **país** demanda **información** adicional sobre la **deforestación** y la **degradación** forestal **para** lograr **los propósitos** anteriores.

**Además**, las condiciones **para** desarrollar el nuevo INF han cambiado notablemente. La **situación** económica ha provocado reducciones presupuestales, liquidaciones, **desconcentraciones** de personal y reestructuraciones. Lo anterior ha determinado la necesidad de establecer un **diseño** de inventario que proporcione **información confiable** y oportuna en un tiempo relativamente corto y a bajo **costo**.

El nuevo plan **para** actualizar el INF contempla la **utilización** de **imágenes** de **satélite** de alta y baja **resolución** (AVHRR y MSS/TM) **para** obtener estimaciones **del** área forestal y elaborar **mapas** forestales generales, **así como** la **obtención** de datos de **campo** a partir de **los** inventarios forestales de detalle existentes y/o generados a base de un muestreo de **campo** eficiente. **También propone** el desarrollo de un Sistema de **Información Geográfica** (SIG) **para** constituir y manipular una base de datos que **facilite** el procesamiento y la **producción** de las salidas de **información** necesarias.

## EL PRIMER INF

El Primer INF **proporcionó** entre otras cosas, la **información** siguiente: a) las áreas de diferentes estratos **para** bosques, selvas y **vegetación** Qrida, b) los volúmenes de **madera** de **los** estratos de bosques y selvas, c) el incremento **para** diferentes estratos con presencia de coníferas y d) otro tipo de **información** clasificada como ecológico-silvícola (potencial de renuevo, daños al arbolado y datos del medio ambiente).

Para la obtención de los mapas forestales a escalas de 1:50,000 y 1:100,000 se interpretaron fotografías aéreas normalmente a escalas 1:30,000 y 1:50,000. La clasificación de los tipos de vegetación fue apoyada por reconocimientos de campos aéreos y terrestres. Las superficies de los distintos estratos se estimaron a base del método de la retícula de puntos, en la cual cada punto representó en los mapas escalas de 1:50,000 y 1:100,000, 6 25 ha y 100 ha, respectivamente.

Para obtener los datos de campo en los bosques de clima templado y frío, se aplicó un diseño de muestreo normalmente sistemático post-estratificado, basado en cuadros de muestreo establecidos a equidistancias variables. En cada cuadro se distribuyeron sistemáticamente sitios de muestreo circulares en número de 9 a 25 (dependiendo de la importancia del recurso forestal y de las características de la zona), del tipo anidado, concéntricos 1,000 m<sup>2</sup>, 2,250 m<sup>2</sup> y 100 m<sup>2</sup> de superficie, en los cuales se capturaron los datos del arbolado comercial, del arbolado de incorporación y del renuevo, respectivamente.

En el caso de las selvas también se aplicó un diseño de muestreo sistemático, a base de cuadros de tamaño variable. En cada cuadro se establecieron, en forma sistemática, fajas de muestreo a equidistancias variables. Dentro de cada faja se ubicaron normalmente de 20 a 50 sitios de muestreo de forma rectangular de 0.1 ha (20 m x 50 m) en los que se obtuvieron los datos del arbolado comercial. Dentro de cada sitio se localizaron subsitios de 250 m<sup>2</sup> y 100 m<sup>2</sup> de superficie para capturar los datos del arbolado de incorporación y del renuevo, respectivamente.

Los datos se procesaron por medio de computadora. Los volúmenes maderables se determinaron a base de ecuaciones de volumen (por estado y por zonas) elaboradas a partir de árboles muestra. El incremento se calculó por medio del método de Loetsch modificado por Villa Salas.

La aportación del primer INF se puede resumir del modo siguiente: a) una contribución al conocimiento de la ubicación y distribución de los recursos forestales del país, de su cuantía y ritmo de crecimiento, b) el desarrollo de metodologías y la capacitación de muchos técnicos mexicanos, c) la aplicación de la información en diferentes programas y proyectos forestales y d) la aportación de información básica de utilidad para el nuevo INF.

## ANTECEDENTES DEL SEGUNDO INF

El Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 destaca la necesidad de utilizar eficientemente los recursos naturales, en especial la conservación y el manejo adecuado del agua y los recursos silvícolas, de modo que pueda garantizarse el abasto de la primera y la producción forestal, así como la conservación del equilibrio ecológico a base de acciones como el incremento de los bosques, la formulación de un nuevo INF y otras acciones. También da preponderancia a la protección del medio ambiente a través del ordenamiento del uso del suelo del territorio nacional.

La necesidad de actualizar la información del primer Inventario Nacional Forestal se apoya en los ordenamientos jurídicos siguientes:

-Ley Forestal, Diario Oficial del 30 de mayo de 1986, Título Segundo, Capítulo Primero, Artículo 6:

“La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), tendrá a su cargo la recopilación y organización de la estadística nacional forestal, así como la integración y actualización del inventario nacional forestal y de la población animal, en coordinación que en su caso requiera, de la Secretaría de Programación y Presupuesto”.

-Reglamento Interior de la SARH. Diario Oficial del 14 de mayo de 1990., Artículo 16, Fracción XII:

“Compete a la **Dirección General de Política Forestal**, establecer las **normas** y procedimientos **para** realizar, integrar y mantener actualizado el **Inventario Nacional Forestal** en **coordinación** con las **demás** autoridades competentes”.

-En marzo de 1990 el actual Secretario de la SARH, Prof. Carlos Hank González, aprobó un planteamiento general para la **actualización del INF** de Mexico, el cual contempla la **realización** de dos actividades **básicas**:

1. Un inventario de Gran Vision, a realizarse en el bienio 1990-91.
2. Un inventario **periódico**, el cual se **llevará a cabo** de 1990 a 1994.

A base de estas disposiciones oficiales, la Subsecretaría Forestal (a **través** de la **Subdirección del INF**) establece contactos a nivel **nacional** con el Instituto **Nacional** de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), con el Servicio Meteorológico Nacional, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, e íntimamente con las Subdelegaciones Forestales de los estados. Al nivel **internacional** se ha **hecho** lo mismo con la FAO y con el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Estos contactos han proporcionado los resultados siguientes:

-**Intercambio** de la **información** con la FAO debido al **interés común** de apoyar sus proyectos respectivos: El INF de México y el de Evaluación de Recursos Forestales 1990 (ERF 1990) de FAO. La **petición** de apoyo de FAO al Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Forest Service) para apoyar a México con tecnología de **Sensores Remotos**.

-**Visita** al SMN de México para **solicitar** apoyo con sensores remotos. Esta **institución** ofreció proporcionar **imágenes AVHRR** del NOAA una vez que contara con el equipo para captar los datos (actualmente trabaja con GOES).

-**Realización** de un Seminario de Trabajo (SARH-INEGI-USDA Forest Service) en la ciudad de Aguascalientes, México, en el que el INEGI ofreció apoyos con materiales y **capacitación**.

-Diversas **visitas** al IMTA que se han traducido en apoyos **concretos** de **capacitación** y **aportación** de materiales.

-**Elaboración** por parte de SARH de una Propuesta de Cooperación SARH-FAO-USDA Forest Service para utilizar datos de **satélite** en la **actualización del INF** de México.

-**Visita** a México del Dr. Gyde Lund y el Dr. Roy Beltz para discutir y concretar una propuesta de colaboración.

-**Presentación** de USDA Forest Service de una propuesta de actividades para apoyar la **actualización del INF** de México en el Marco del acuerdo con FAO.

#### **PROPUESTA GENERAL PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL INF**

La **actualización del INF** de México se **realizará** a base de la ejecución de un inventario de Gran Vision y de un inventario periódico.

Mediante la ejecución del primero se **obtendrá** información general de los recursos forestales a corto plazo (dos años), utilizando **imágenes AVHRR** del NOAA y MSS/TM del **LANDSAT**, así como datos obtenidos de inventarios recientes llevados a **cabo** con fines de **manejo** y **aprovechamiento forestal**. Este inventario se **hará** por **única vez** y sus datos **podrán utilizarse** para: a) negociar con diferentes usuarios (niveles políticos de **toma de decisiones**,

industriales, productores, asociaciones civiles) el desarrollo del INF periódico, b) proporcionar información básica para planear algunas actividades de este último inventario (como el muestreo de imágenes y el muestreo decampo), c) obtener un conocimiento general actualizado de las condiciones del recurso forestal.

Con el inventario periódico se obtendrá información más detallada y precisa de los recursos forestales a base de la interpretación de imágenes TM, SPOT y fotografías aéreas, y la obtención de datos decampo actuales aplicando un diseño de muestreo que combine sitios de muestreo temporales y permanentes. Este inventario será permanente y estará sujeto a un desarrollo continuo. Se realizará cada 10 años con objeto de hacerlo coincidir con el Censo Nacional de Población. Aquí se efectuará un monitoreo continuo aplicando imágenes AVHRR.

Las imágenes de satélite se utilizarán para estimar el área de la cubierta forestal para clases de bosques, selvas y otros tipos de vegetación. Las imágenes AVHRR y TM podrán utilizarse combinadamente con fotografías aéreas en diseños de muestreo multietápico.

### APLICACION DE LAS IMAGENES DE SATELITE

Se pretende utilizar las imágenes de satélite en la forma siguiente:

-En el INF de Gran Vision se interpretaran las imágenes AVHRR de acuerdo a un primer nivel de clasificación. (La clasificación de la FAO podría utilizarse con este propósito). A base de ello, se obtendrán las superficies de las coberturas forestales y se elaboraran ocho mapas a escala 1:1,000,000. Como apoyo a la interpretación se podrán utilizar imágenes MSS y TM, cartas temáticas y otros datos, sobre todo en las áreas cubiertas con nubes. Los cambios de la cubierta forestal se evaluarán a base de la interpretación visual de imágenes MSS y TM de dos épocas

diferentes (1980 y 1990), utilizandose para tal efecto la metodología desarrollada por la FAO. Las superficies estimadas con AVHRR podrian ser calibradas posteriormente a base de las obtenidas con TM de 1990.

-En el inventario periódico se interpretaran en forma automatizada las imágenes TM para obtener un mayor detalle. Deberá estructurarse una clave a un segundo nivel de clasificación, que se vincule con la clasificación de FAO. Se ha sugerido que podrian utilizarse imágenes SPOT y/o fotografías aéreas para calibrar las superficies obtenidas con TM. Los cambios se determinaran a base de un monitoreo anual con imágenes AVHRR. Se creará también un Sistema de Información Geografico (SIG) con el objeto de crear una base cartográfica de datos.

La decision de utilizar imágenes AVHRR en una primera etapa se debe a que presentan las características siguientes:

-Cuentan con cinco canales que cubren la mayor parte de las regiones espectrales, desde la visible a la infrarroja cercana, lo cual permite calcular Indices Normalizados de Vegetación (MDVI) para resaltar las diferencias en reflectancia de la vegetación.

-Su cobertura diaria permite obtener imágenes sin nubes, especialmente con la creación de imágenes compuestas de varios barridos de la misma área. Lo anterior resulta muy útil para las áreas tropicales de México.

-La resolución gruesa de 1.1 km para LAC y de 4 km para GAC permite obtener una gran cantidad de datos que pueden utilizarse en proyectos regionales y globales de inventarios de recursos. Además, su bajo costo (200 dólares estadounidenses en el Centro de Datos EROS del levantamiento geológico), las hacen ideales para los inventarios forestales de gran escala.

## DATOS DE CAMPO Y PROCESAMIENTO

Los datos de campo se obtendrán tanto de inventarios forestales a nivel predial ya realizados, como del levantamiento de nuevos sitios de muestreo.

En el inventario periódico se utilizarán los primeros, los wales serán procesados, integrados y reportados a las oficinas centrales del INF con objeto de obtener un primer nivel de integración. En las oficinas centrales, estos datos serán revisados, analizados y procesados para obtener la información requerida. Esta información podría referirse tanto a las clases forestales interpretadas como cuencas, Unidades de Conservación y Desarrollo Forestal, y Distritos de Desarrollo Rural.

Para el inventario periódico se levantarán nuevos sitios de muestreo. Se ha sugerido aplicar un muestreo sistemático a base de conglomerados equidistantes, en forma similar al aplicado en el primer INF. En bosques templados y fríos, estos conglomerados podrían tener un espaciamiento de 5 km y estarían constituidos de nueve sitios circulares concéntricos, separados 250 m entre sí. En las selvas, estos conglomerados (parcelas de muestreo) tendrían una separación de 8 km y cubrirían una superficie de 25 ha (500 m x 500 m); cada cuadro contendría tres fajas de 20 m x 500 m separadas 200 m una de otra, con 10 sitios de muestreo continuos, de 20 m x 50 m cada uno, y dentro de éstos, dos subsitios similares a los utilizados en el primer INF. Los datos de campo, junto con los cartográficos, se capturarán por medio del SIG para crear una base de datos, a través de la cual se procesarán para obtener los resultados esperados.

## COORDINACION Y CONCERTACION DE APOYOS

Actualmente existen algunas limitaciones para llevar a cabo la actualización del INF, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

-No se tiene el equipo ni los programas de cómputo, para manipular y clasificar los datos de satélite y para crear la base de datos.

-Existe muy poco personal técnico y éste requiere de una capacitación continua en sensores remotos y sistemas de información geográfica.

-Se carece de equipo de mediación forestal y fotogramétricos. El utilizado por el primer INF quedó disperso debido a las recientes reestructuraciones y desconcentraciones de personal.

-Cierta información y algunos materiales obtenidos durante el primer INF se encuentran en la situación anterior, como la correspondiente a sitios de muestreo permanentes, registros de datos de campo, fotografías aéreas fotointerpretadas y otros.

-Existen algunas restricciones presupuestales y administrativas.

Con objeto de subsanar estas limitaciones, se ha establecido contacto y coordinación con instancias, instituciones y organizaciones nacionales e internacionales, de las que se ha obtenido el apoyo siguiente:

-El INEGI y el IMTA han proporcionado algunas imágenes de satélite en papel. El primero ha donado también la cartografía temática que ha producido, en tanto que el segundo ha capacitado a técnicos mexicanos en el uso del SISTEMA CARTOS (SIG).

-La FAO impartió capacitación a dos técnicos mexicanos sobre la metodología que ha desarrollado para evaluar el área actual de la cubierta forestal y sus cambios. También proporcionó la traducción al español del manual titulado "Methods and Procedures for Assessment of Tropical Forest Area and Change Using High Resolution Satellite

Data". El INF por su parte, ha proporcionado a FAO datos de los recursos forestales de México para la evaluación mundial.

-El laboratorio de Sensorio Remoto de Starkville, Mississippi, impartió un entrenamiento de tres semanas a dos técnicos mexicanos, el cual comprendió lo siguiente: a) propiedades espectrales de la cubierta forestal, b) variaciones estacionales de los tipos de vegetación más importantes de acuerdo a la relación de su reflectancia en las regiones espectrales visible e infrarroja, c) sistemas de sensorio más importantes y su aplicación al estudio de recursos, d) práctica con formato digital de datos y procedimientos de procesamiento, e) esquemas de clasificación de la vegetación y detección del cambio de la cubierta, y f) técnicas de integración de datos de sensorio remoto en muestras multietápicas de múltiples recursos.

Las sesiones interactivas de intercambio de información, permitieron establecer consideraciones sobre cómo iniciar y organizar un proyecto de inventario de recursos utilizando imágenes remotas como fuente primaria de datos.

Como parte del programa de apoyo a la actualización del INF de Mexico, el laboratorio de Sensores Remotos del FIA (Forestry Inventory and Analysis) apoyará en la obtención e interpretación de las imágenes AVHRR para obtener datos preliminares del inventario de Gran Vision. Se tienen casi listos cuatro compuestos de las imágenes AVHRR que se utilizarán para este propósito. A finales de abril, dos técnicos mexicanos viajarán a Starkville para iniciar los trabajos de clasificación. El procesamiento se realizará con el Sistema ERDAS, utilizando una SUN SPARCSTATION 2. Se utilizarán las clasificaciones supervisadas y no supervisadas, pero se dará énfasis a la selección de campos de entrenamiento a base del método supervisado. Como esquema de clasificación inicial se podrá utilizar el preparado

en coordinación con Anders Hildeman y Rudi Drigo de la FAO, para los conceptos que cubran el nivel I de clasificación.

## ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En forma resumida, los trabajos realizados a la fecha para actualizar el INF de Mexico, son los siguientes:

-Se elaboró y negoció, al nivel de toma de decisiones de la SARH, una propuesta para actualizar el INF de Mexico, la cual fue acordada al mas alto nivel.

-También se elaboraron las Guías e Instructivos Técnicos correspondientes al inventario de Gran Vision y al inventario periódico, los cuales han sido enviados a cada una de las Delegaciones de la SARH en los estados.

-Técnicos mexicanos recibieron capacitación sobre digitalización de mapas e interpretación visual y automatizada de imágenes de satélite, tanto en el país como en el extranjero.

-Con cada una de las Delegaciones Estatales de la SARH se acordó la integración y envío de datos de campo provenientes de los inventarios realizados a nivel de predio forestal. En oficinas centrales se recibieron los datos correspondientes a 16 estados, los cuales están en proceso de revisión e integración.

-Entró en proceso también la obtención y la interpretación de imágenes MSS y TM que se utilizaran para evaluar el área actual de la cubierta forestal y sus cambios, en coordinación con FAO.

-Se elaboró un proyecto operativo para el inventario periódico del estado de Oaxaca, y se envió a las delegaciones estatales para que pueda servir como guía para que otros estados elaboren el propio.

-Se **trabajó** en la **elaboración del** INF de Mexico, que **aportó información** sobre el primer INF y algunos datos gruesos sobre el inventario de Gran Vision.

-Se hicieron preparativos **para** interpretar las **imágenes** AVHRR en **el** Laboratorio de Sensores Remotos **del** FIA.

#### REFERENCIAS

Medina, B.R. 1987. Estrategias de **evaluación para** areas forestales **del trópico**. En: Evaluación de tierras y recursos **para** la planeación en las zonas tropicales. International Conference and Workshop. GTRNo.39. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Chetumal, Mexico, pp. 21-29.

Ruiz, A.M, y D.A. Gómez. 1987. **Diagnóstico de los sistemas** de inventario forestal utilizados en la **región-trópico húmeda** de Mexico en: Evaluación de tierras y recursos **para** la planeación en las zonas tropicales, International Conference and Workshop, **GTRNo. 39**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Chetumal, Mexico. pp. 177-183.

SARH. 1990. Seminario **conjunto SARH-INEGI- USDA para** la **coordinación y concertación de apoyos para** la **actualización del inventario nacional** forestal. **Dirección General de Política Forestal**. Inedito.

Sosa, V. 1987. Niveles de **información** necesarios **para** la **toma de decisiones** en el **manejo** de bosques tropicales. En: **Evaluación de** tierras y recursos **para** la planeación en las zonas tropicales. International Conference and Workshop. GTR No. 39. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Chetumal, Mexico.

Sosa, V. 1989. **Evaluación de los** recursos forestales de Mexico en 1990 y 2000. En: International Conference and Workshop; September 24-30, 1989. Global natural resource monitoring and assessments: Preparing for 21 th century. Venecia, Italia.

Sosa, V. 1990. Una **contribución para** el inventario forestal de Mexico. **Comisión Nacional Forestal**. Inedito.

# STRATEGIES FOR GLOBAL MONITORING OF TROPICAL FORESTS

Raymond L. Czaplewski

## INTRODUCTION

The Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations is conducting a global assessment of tropical forest resources, which will be accomplished by mid-1992. This assessment requires, in part, estimates of the total area of tropical forest cover in 1990 and the rate of change in forest cover between 1980 and 1990. The following are described here: (1) the strategic process used to select the statistical and remote sensing methods that accomplish this objective, (2) general details and expected precision of the selected method, and (3) recommendations for monitoring and assessment actions after mid-1992. The following is a summary of Czaplewski (1991) which is a consultation report on this subject submitted to FAO in February 1991.

## DESIGN ALTERNATIVES CONSIDERED

Four fundamentally different design alternatives were considered:

1. Collection of existing data, primarily national forest inventories, supplemented with regression models that predict forest extent and rates of deforestation as functions of eco-floristic classifications and human population density.
2. Digital classification of coarse-resolution satellite scenes from 1990 that completely image the world's Tropics. All terrestrial 1.1 km<sup>2</sup> AVHRR pixels for the world's Tropics are reclassified into two categories: forest or nonforest. Regression models from the first alternative would be used to estimate rate of deforestation between 1980 and 1990.
3. Visual interpretation of a randomized sample of high-resolution satellite

images (which are treated as permanent plots) for two dates (1980 and 1990), with a sampling intensity of 5 to 40 percent of the world's Tropics. All 30 m<sup>2</sup> pixels within each sample scene are classified into 7 to 14 different categories of terrestrial cover.

4. Visually interpreted classification of high-resolution satellite images that completely cover the world's Tropics.

FAO has already accomplished the first alternative, the second and third alternatives can be accomplished before mid-1992, and the fourth alternative would require 5 to 10 years to complete.

## EVALUATION CRITERIA

These 4 alternatives were compared using 12 evaluation criteria that reflect FAO objectives, which are presented in more detail by Dr. K.D. Singh elsewhere in these workshop proceedings. These criteria are summarized in this section, including supporting rationale. More details are available in Czaplewski (1991a).

Given the controversial nature of tropical deforestation and the contradictions among existing global estimates, FAO must produce scientifically objective and credible estimates that can be trusted by various national and international institutions. If estimates used to support policy considerations are suspect, then technical methods used to produce the estimates become a central issue, diverting attention from more important issues and hindering development of consensus among institutions. Therefore, the FAO design should use statistically acceptable methods. Estimates should be reasonably precise and include a quantitative and objective measure of reliability to evaluate precision. Estimates should be

statistically unbiased, or nearly unbiased, relative to the precision of the estimates.

The FAO assessment requires more than a description of the current status and trends in the global condition of tropical forests. The assessment also requires an understanding of the processes that have caused the current condition and the effects of current policies. Therefore, the FAO statistical design should help institutions better understand the causes and effects of deforestation, and eventually afforestation and reforestation practices. This can be accomplished, in part, by development of quantitative models that predict the expected rate of deforestation based on social, technological, and environmental variables. Model predictions can be scientifically compared to observed rates of deforestation. Where the expected and observed rates agree, the predominant causal factors are likely included in the model, and there is more confidence that the major processes are reasonably well understood. Where the agreement is poor, additional study is required to hypothesize the cause of the disagreement and to incorporate additional predictor variables in the model. Reliable models are necessary to analyze future policy issues. The monitoring design should support this evolution of understanding.

Global monitoring is a massive task that requires effective cooperation among FAO, several other international institutions, and many national institutions. This requires logical motivation for each cooperating institution to contribute to joint efforts. Therefore, the FAO design should have utility to developing nations, which often require better mapping, inventory, and assessment of their national forest resources, including a stable institutional base to support these activities. For similar reasons, the design should have utility to international institutions. One of the implications of this is the ability to address global environmental issues, such as biomass, biodiversity, and opportunities for reforestation and afforestation.

The FAO design must have a high probability of success to support its global tropical forest resource assessment due by mid-1992. In the longer term, global monitoring should be conducted on a regular cycle to support assessments of existing and future policies. This requires a design that is adaptable to changing funding levels, both increases and decreases.

As will be discussed later, none of the 4 design alternatives is clearly superior relative to all 12 evaluation criteria. The short-term selection of one alternative necessitates compromises among FAO objectives, and their associated evaluation criteria. However, in the longer term, components of all four alternatives might be combined into a global monitoring system that adequately satisfies all objectives. This would preserve the value of investments in a design that is specialized for short-term objectives.

## STATISTICAL ISSUES

Any system for credible global monitoring of tropical forests will have certain complexities that involve many statistical issues. Many of these issues are discussed in detail in Czaplewski (1991a). However, some of the more important issues are summarized in this section.

Sampling error is a well-known source of uncertainty in sample surveys. This primarily affects the third design alternative, which uses a sample of high-resolution satellite scenes and is briefly described above. However, all four alternatives are affected by substantial sources of nonsampling error.

Land uses are rapidly changing in many tropical regions. The informational value of past data is slowly lost because of changes in land use, such as conversion of forests to agricultural uses. In statistical terms, these changes introduce bias when past data are used to estimate current conditions. The magnitude

of this bias shifts with time, at different rates depending on the rate of change in land use. The magnitude of this bias can be estimated with models that predict the expected rate of change, and the bias can be corrected with these expectations. However, models introduce an additional component of uncertainty, known as prediction error.

**The last** three design alternatives use satellite data; many of the existing national inventories used in the first alternative also use satellite data. Missing data is a chronic problem with satellite images. Most images have some small cloud patches that are largely distributed randomly. Many tropical regions are dominated by clouds at most times, but adequate satellite images with minimal cloud cover are usually available during a 1- to 5-year interval. However, some areas have perpetual cloud cover, especially in equatorial Africa. In addition, many historical satellite scenes have not been archived and are not available, especially coarse-resolution satellite data.

Classification of land cover and land uses with satellite data is not a perfect process, and many sites are misclassified. This causes misclassification error in estimates of the percentage of a region occupied by different cover categories. For example, let  $Y$  equal the remotely sensed percentage of deforestation in a region, and  $X$  equal the true percentage of deforestation. The remotely sensed percentage is the following mathematical function of the true percentage:

$$Y = [H_A X] + [(1 - H_B)(100\% - X)]$$

where  $H_A$  is the proportion of sites classified as **deforested that are truly deforested**, and  $H_B$  is the proportion of sites classified as forest that are truly forest. The equation shows that misclassification will bias area estimates from remote sensing; the remotely sensed percentage ( $Y$ ) will not equal the true percentage ( $X$ ) unless there are no omission errors; i.e.,  $H_A = H_B = 1$ , or effects of omission errors exactly compensate; i.e.,  $(1 - H_B)(100\% - X) = (1 - H_A)X$ . Assume

classification accuracies are high for all cover types (e.g.,  $H_A = H_B = 0.95$ ). If deforested areas truly cover 10 percent of a region, then the remotely sensed estimate will be 14 percent (see equation 1). In this example, the remotely sensed percentage will be 40 percent larger than the true value. If a small percentage of a common cover type is misclassified as a rare cover type, then the area occupied by the rare type will be overestimated, unless there is a high rate of omission error in classifying the rare type. The magnitude of misclassification bias is discussed in more detail by Czaplewski (1991b). Misclassification bias might explain some of the disturbing discrepancies between current estimates of deforested areas made with coarse-resolution satellite data by several international institutions and independent estimates made with photointerpretation of high-resolution satellite data by national institutions. Unexplained discrepancies reduce the credibility of all estimates.

Statistical calibration techniques can be used to remove the bias caused by misclassification. Calibration cannot identify misclassified pixels. Rather, calibration is a probabilistic technique; it uses proportions of imperfectly classified pixels in a sample of reference plots to estimate conditional probabilities of various types of misclassification, and these estimated probabilities are then used to predict the true percentage of each cover type given the remotely sensed percentages. For example, equation (1) can be solved for the true percentage of deforestation ( $X$ ), given the remotely sensed percentage ( $Y$ ) and the estimated conditional probabilities of correct classification ( $H_A$  and  $H_B$ ). Since a sample of reference data is used to estimate these conditional probabilities, the estimates of  $H_A$  and  $H_B$  will contain sampling errors, and the estimated percentage of deforestation will include propagated errors from the calibration model. A sample of high-resolution satellite scenes is well suited as reference data to calibrate coarse-resolution satellite estimates. Hay (1988) discusses this general situation in more detail.

Statistical calibration requires accurate estimates of misclassification probabilities using reference plots from theregion, and this requires accurate registration of high-resolution reference plots **onto the** lower resolution imagery. Registration error will cause error in the estimates of the conditional probabilities of correct classification ( $H_A$  and  $H_B$ ) in equation (1). This error will be propagated through the calibration model and cause error in calibrated area estimates. Accurate registration can be difficult in certain landscapes, and effective quality control is required to minimize this source of error.

Classification of land cover into multiple categories presents a multivariate estimation situation. The sum of all cover categories equals exactly 100 percent of a region. Independent univariate estimates for each category will **not** necessarily add to 100 percent, which can reduce credibility. In addition, the estimation error variance for **the** sum of all cover categories equals exactly zero (because the sum of all cover types equals exactly 100 percent), even though area estimates for each category will have a **nonzero** variance caused by random sampling, prediction, or propagated errors. Therefore, the estimation errorcovariance matrix should have many negativecovariance terms off the diagonal. For assessment purposes, different cover categories are often combined into less specific categories, and the estimation error variance for a combined category will be reduced if the negative covariance terms are properly considered. Also, the additivity constraint can makemultivariateestimators moreprecise than independent application of univariate estimators to each category. However, the statistical methods for multivariate estimation are less developed than those for univariate estimation.

A systematic sample might improve statistical efficiency. However, systematic sampling might unknowingly align with systematic features within strata, and variance estimates for systematic sampling are more problematic than for random sampling. These

factors reduce credibility somewhat. It is also easier to intensify future random sampling if funding levels increase, but this is more geometrically difficult with systematic sampling.

The statistical efficiency of a sample of **high**-resolution satellite data scenes might be increased by sampling with probability proportional to size (PPS). The “size” of each possible sample unit could be defined as the expected rate of deforestation, or the expected **extent** of forests, within each potential sample scene. These expectations are available from existing FAO models and geographic information systems, which contain **continental**-scale maps. However, a PPS sample will cause inefficiencies if the FAO sample is used as permanent plots in a long-term monitoring program. For example, a sample unit with a high rate of deforestation between 1980 and 1990 might have a low rate between 1991 and 2000 because the forest resource in that sample unit might be depleted by 1990. Also, PPS requires proper consideration of the unequal probabilities of sample unit selection when fitting regression models, which might be used in futurecalibration estimators or deforestation models; weighted regression should be used, with weights inversely proportional to probability of selection. PPS will produce unbiased estimates. However, sample units with high rates of expected deforestation are selected with higher probabilities than sample units with low expected rates of deforestation. This fosters a misperception among **non-statisticians that PPS will produce overestimates**. Even though this perception is not based on statistical theory, **this** perception can reduce credibility of PPS estimates.

Other statistical issues are discussed by Czaplewski (1991a), which are summarized here. Several alternative sampling frames can be used for high-resolution satellite data, or calibration for misclassification bias with coarse-resolution satellite data: subnational geopolitical units, high-resolution satellite scenes, map sheets, aerial photographs, and field plots. Each

potential frame has advantages and disadvantages. Efficiency of sampling designs for high-resolution satellite data, or calibration of coarse-resolution satellite data, can be improved with stratification; there are numerous criteria that can be used with available data to stratify, and each potential set of criteria have advantages and disadvantages.

## EVALUATION OF ALTERNATIVE STATISTICAL DESIGNS

None of the four design alternatives listed at the beginning of this paper are clearly superior given the evaluation criteria; this implies that some objectives will be satisfactorily served, while other objectives will not be fulfilled, at least in the short term. Therefore, selection of a design implies judgments regarding the priority of evaluation criteria.

The most important short-term objective is production of credible global estimates of deforestation rate ( $\text{ha/yr}$ ) between 1980 and 1990, and secondarily on credible global estimates of the area extent (status) of tropical forests in 1990. To be credible, the estimates must be scientifically sound, unbiased, and reasonably precise. Without credible estimates, it is impossible to objectively defend their validity. Some degree of consensus is required among national and international institutions in order to implement policies that affect management of tropical forests. Consensus is best nurtured by credible information, and FAO is one of the few institutions capable of providing this information in a timely fashion. Until some consensus is achieved, changes in the current management of tropical forests are unlikely. Therefore, high priority should be placed on production of credible information in the near future.

The first design alternative is use of existing national inventories and deforestation models. It uses ad hoc methods similar to those used by FAO in 1980 for its previous assessment of tropical forest resources. This alternative produces estimates of unknown precision that

include unknown levels of bias. The expectation is that these estimates will be reasonably precise and unbiased, but this expectation cannot be scientifically defended. In fact, this alternative has already been implemented by FAO. However, FAO has decided to continue its progress by pursuing a complementary alternative that provides more defensible information.

The existing FAO data base has great value in that it can be used to more efficiently implement other design alternatives that are more credible to other institutions. This data base has also been used to model the rate of deforestation using empirical data on deforestation from existing national forest inventories, estimates of human population for subnational units, and maps of eco-floristic zones. This model is one initial step to better understand factors affecting the process of deforestation, which can help assess effects of policies on tropical forests. Therefore, past FAO efforts on this alternative serve an extremely useful purpose, and the value of these past efforts can be enhanced by progressing to a more scientifically credible design.

The second design alternative uses **coarse-resolution** satellite data to estimate the status of tropical forest cover in 1990. However, classification of 1.1 km\* AVHRR pixels into a forest or nonforest category is not considered a reasonable definition of truth by national institutions; therefore, the credibility of data produced by this alternative is suspect.

This alternative cannot estimate the rate of deforestation between 1980 and 1990 because historical images near 1980 were not acquired or archived. This alternative might be used to make biased estimates of total deforestation to date for regions in which the past extent of forests is known. However, a deforestation model is required to estimate deforestation between 1980 and 1990, as in the previous alternative. Since the precision and bias of this model are not known, this alternative is not recommended for estimating deforestation.

Misclassification errors will bias coarse-resolution satellite estimates of tropical forest cover in 1991. Without a sample of higher resolution data, the magnitude of misclassification bias is cannot be scientifically estimated. Therefore, uncalibrated coarse-resolution satellite estimates lack credibility. Coarse-resolution satellite estimates can be calibrated for misclassification error, using existing forest inventories of subnational units. However, this requires a nonrandom sample of subnational units to build the statistical calibration model. There will be differences in dates of subnational inventories, and probably differences in definitions and measurement protocols. Therefore, the scientific credibility is suspect, and cannot be recommended for FAO objectives.

Coarse-resolution satellite data can be calibrated for misclassification error, using a sample of high-resolution satellite scenes. Presently, no institutional base has provided the necessary high-resolution satellite data that are needed to calibrate for misclassification bias. Therefore, this alternative is not recommended for implementation by FAO, although this decision could change if the accurately classified calibration plots were available in the future.

This alternative does have several short-term benefits. It provides a description of the geographic distribution of land uses that have caused deforestation and areas where tropical forest cover and current land uses are compatible. This is valuable to better focus national and international assessments and policy concerns in specific geographic areas. It also provides a picture of the current situation that can be rapidly and effectively communicated to policy makers and concerned publics. Furthermore, the present extent of tropical forest cover is one of several important predictors of deforestation in the FAO deforestation model. Even biased estimates of forest extent will improve application of the FAO deforestation model to relatively small geographic areas (e.g., subnational units) where current data on forest extent is not available.

Several international institutions are in the process of implementing this alternative, and results for the world's tropical forests are expected in the near future. FAO has attempted to assist these other institutions by facilitating archival of 1990 AVHRR digital images for the entire Tropics.

The third design alternative is a statistical sample using high-resolution satellite data. It emphasizes a scientifically credible, design-based statistical sample of high-resolution satellitedata scenes for estimating area extent of tropical forests in 1990 and the rate of deforestation between 1980 and 1990.

This alternative does not use the FAO deforestation model to estimate deforestation between 1980 and 1990. Rather, it uses a randomized sample of high-resolution satellite data scenes (i.e., permanent plots) for which 1980 and 1990 images are available (although the FAO deforestation model can serve as stratification criteria to make this alternative more efficient). This alternative assumes that credible estimates of change in forest extent for each sample unit between 1980 and 1990 can be visually interpreted by comparing images for the same sample unit at two dates. This assumption is considered reasonable because many international institutions consider interpretation of coarse-resolution satellite data a truth, and many national institutions currently map their forest resources with visual interpretation of high-resolution satellite data.

This alternative prescribes a randomized sample of high-resolution satellite data scenes, which is expected to have high scientific credibility. However, the precision of this alternative depends on the sample size of plots used to estimate forest extent in 1990, and the rate of deforestation between 1980 and 1990. If this sample size is too small for a given region, then this alternative will not be credible because the precision of the estimates will be unacceptable. Preliminary estimates of sampling error have been made using the current FAO data base, and acceptable levels of precision

are expected using 100 high-resolution satellite datascenesforaglobalestimate;however,more intensive sampling is needed for higher spatial resolution, such as continents or multinational subregions. This alternative is discussed in more detail in the next section.

The fourth **design alternative** is complete mapping of the Tropics with high-resolution satellite data. This alternative emphasizes national objectives, but it also produces data for international objectives. A nonrandom sequence of cartographic units (i.e., map sheets) are visually interpreted by national institutions, usinghigh-resolutionsatellitescenes,untilentire nations are completely mapped. This will take 2 to 10 years for any single nation. Then, map sheets are reinterpreted using more recent imagery to estimate rates of area change such as hectares of deforestation.

This alternative requires complex statistical methods to produce relatively unbiased estimates of known precision. The nonrandom sequence requires a deforestation model to update area estimates for older map sheets. However, the bias and precision of model predictions can be objectively quantified using remeasurements of some map sheets each year for multinational subregions.

Although this alternative has desirable features for long-range FAO objectives, this alternative requires functional national institutions that do not currently exist in most tropical nations, and it will take years to develop such institutions in many nations. Complex model-based statistical methods are vulnerable to legitimate scientific criticism, which reduces the international credibility of this alternative. However, the FAO selection of the third alternative (i.e., randomized sample of **high-resolution** satellite data) facilitates an evolution toward this fourth design, which better serves national objectives. This is required for national and international policies that are based on credible, compatible, and mutually accepted information.

## STATISTICAL DESIGN SELECTED BY FAO

All four alternatives except one lack the credibility that is needed to improve thecurrent situation that faces FAO and the international community. Therefore, FAO has chosen a design based on a randomized sample of **high-resolution** satellite data scenes for estimating the extent of tropical forests in 1990 and the rate of deforestation between 1980 and 1990. This alternative places highest priority on credible estimates of tropical forest extent in 1990 and rates of deforestation between 1980 and 1990. This alternative produces the most credible estimates in the short term, assuming a sufficiently large sample of satellite scenes can be purchased and interpreted.

The first alternative, i.e., accumulation of existing data, has already been implemented by FAO, but the sample of high-resolution satellite scenes is required to improve credibility of existing estimates. Other international institutions are implementing the third alternative, i.e., coarse-resolution satellite data, but these institutions will not likely produce credible estimates of deforestation between 1980 and 1990. The fourth alternative, i.e., complete land cover and land use mapping of the global Tropics, has many desirable features in the **long-term**, but this alternative cannot be completed in time for the FAO assessment, due in **mid-1992**. However, the selected FAO alternative is a short-term design that will serve more **long-term** objectives, which will be discussed later.

The principal weakness of the **high-resolution** satellite data alternative is the potential lack of precision from a small sample size of high-resolution satellite data scenes, which is caused by cost and logistical requirements. Based on preliminary data in the **currentFAOdata** base,itappears thatreasonable continental estimates of the status of tropical forest cover in 1990 can be estimated from a global sample size of 117 high-resolution satellite scenes, as shown in the following table.

Current estimate of sampling precision + x% at 95% probability level

| Region/stratum             | Confidence interval (%) | Landsat sample scenes |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Central America and Mexico | + 13                    | 10                    |
| Tropical South America     | + 8                     | <b>13</b>             |
| Brazil                     | + 7                     | 17                    |
| Latin America              | + 5                     | 40                    |
| Africa                     | + 8                     | 47                    |
| Asia                       | + 8                     | 30                    |

However, the confidence intervals for rate of deforestation between 1980 and 1990 are expected to be 1.5 to 2.0 times larger than confidence intervals for status in 1990. Also, confidence intervals for more detailed classifications of land cover and type of change will be greater. These factors will limit the spatial detail of the initial FAO assessment in mid-1992; reasonable precision might only exist for the global estimates, which would preclude detailed assessments for continental or subcontinental regions. More spatial detail is needed for global assessments, and opportunities to improve precision by building upon the FAO system are briefly discussed in the final section.

#### **FUTURE GLOBAL MONITORING EFFORTS FOR TROPICAL FORESTS**

Although a statistical sample of high-resolution satellite scenes appears best for **short-term FAO objectives**, the other three alternatives have certain advantages for midterm and long-term objectives. A far better course of action would be the eventual combination of the strengths of each alternative into a single, continuous system for monitoring and assessing tropical forest conditions. Without a continuous system, policy decisions are based on information that loses credibility over time. The selected FAO design should be considered as a

short-term step toward achieving a continuous system that combines the desirable features of many alternative monitoring procedures. Some of the opportunities for evolution toward better monitoring systems of the future are discussed in this section.

In cooperation with other international institutions, FAO's sample of high-resolution satellite data should be used to calibrate coarse-resolution satellite data estimates of tropical forest extent, which are now being developed by other international institutions. Calibration is required to correct for misclassification bias. Calibration for misclassification bias would reconcile inconsistencies and increase credibility of estimates from all participating institutions. The advantages of the spatial detail in coarse-resolution satellite data estimates could be combined with the advantages of unbiased FAO global estimates for all subnational units, even those for which high-resolution satellite data sample estimates were not available. This would greatly enhance **the** spatial resolution for unbiased FAO estimates of deforestation.

The sample size of high-resolution satellite data scenes should be increased after the initial FAO assessment is produced in mid-1992. High resolution satellite data imagery for 1980 and 1990 would be used to produce more precise estimates of deforestation between 1980 and

1990, and its status in 1990. For example, the global assessment might be based on 100 **high-resolution** satellite data scenes, but another 100 sample scenes might be interpreted in 1992, another 100 sample scenes in 1993, and another 100 sample scenes in 1994. This will continually improve the precision of the statistical estimates over **the next** few years for global estimates and estimates for subregions.

The sample of high-resolution satellite scenes should be continuously monitored after the initial FAO results are produced in 1992. This is one step towards achieving the FAO objective for continuous monitoring of tropical forests. For example, high-resolution satellite data scenes imaged in 1994 might be acquired for a portion of high-resolution satellite data sample scenes for which 1980 and 1990 **high-resolution satellite data imagery** was interpreted.

**Changes** in forest cover and land uses between 1990 and 1994 would then be interpreted to produce a statistical estimate of deforestation between 1990 and 1994. The following year, high-resolution satellite data scenes imaged in 1995 might be acquired for a different portion of high-resolution satellite data sample scenes to produce a statistical estimate of deforestation between 1990 and 1995. An interpenetrating cycle of remeasurements of high-resolution satellite data would permit annual estimates of deforestation. The details of this progressive development of a continuous monitoring design require considerable thought and planning, but this might be deferred until the immediate FAO objectives are met in 1992. This would require more complex statistical estimators that incorporate a deforestation model in order to correctly treat a time series of remeasurements for high-resolution satellite data permanent plots. Also, a time series of high-resolution satellite data will permit calibration of future coarse-resolution satellite data estimates of deforestation.

Coarse-resolution satellite data estimates should be combined with model predictions of deforestation. If the other actions given previously are accomplished, unbiased

estimates of deforestation for all subnational units will be available from calibrated **coarse-resolution satellite data estimates** and calibrated predictions from the FAO deforestation model. Both types of estimates for each subnational unit will be unbiased with known precision, but the two estimates for each subnational unit will be different because of errors propagated from the statistical calibration models. However, the two estimates for each subnational unit **can** be combined into a single, more precise estimate with a multivariate composite estimator.

In cooperation with many institutions, FAO should maintain the data base for existing data for subnational units. This includes summary results of future forest inventories conducted by individual nations, and other estimates of forest extent, deforestation, reforestation, afforestation, and human population density. The FAO geographic information system that contains subnational unit boundaries and thematic maps of forest status should also be maintained. This data base has already been built by FAO and has been essential in the development of the FAO deforestation model. Improvements in the deforestation model require maintenance of the FAO data base. The deforestation model is essential for several of the actions above; also, the deforestation model is expected to be an important tool in future policy analyses for tropical forests. Additional tabular and geographic data should be acquired and maintained, such as road densities.

Forest mapping by national institutions should be supported. This is important for development of forest resource monitoring, assessment, and management at the national level. This can also benefit international monitoring and assessment activities. If national and international institutions can share **the same** information base, then credibility and successful coordination are more likely. The first step in this process is developing or strengthening national institutions that can consistently perform these functions, and transferring the necessary technologies to **these** institutions.

## LITERATURE CITED

- Czaplewski, R.L. 1991. Analyses of alternative sample survey designs. Report submitted to the Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations, Forest Resources Assessment 1990 Project, Rome, Italy. 80 pages. (Available in English or Portuguese from author at USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 240 West Prospect Street, Fort Collins, CO 80526, U.S.A., FAX 001-303-498-1010).
- Czaplewski, R.L. 1991b. Misclassification bias in area1 estimates. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. (Inpress).
- Hay, A.M. 1988. The derivation of global estimates from a confusion matrix. **International Journal of Remote Sensing** 9:1395-1398.

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING AVHRR DATA: CALIBRATING AVHRR DATA WITH LANDSAT

Louis R. Iverson, Robin L. Graham, Elizabeth A. Cook

A method was developed for using the combination of **Landsat** TM, AVHRR, and other biogeographical data to estimate forest cover or productivity over large regions. To estimate forest cover over large regions, **Landsat** TM data were used to classify a small area (calibration center) into **forest/nonforest**, which in turn was used to calibrate, via **stepwise** regression, the AVHRR spectral data for percentage of forests; the resultant regression relationship was then used to extrapolate forest cover estimates several hundred kilometers beyond the TM data limits.

The method was used over two large regions in Central and Eastern United States and one region in west Africa: areas centered on Illinois, U.S.A. (Iverson *et al.* 1989), the Smoky Mountains in Tennessee and North Carolina, U.S.A. (Iverson *et al.* 1990), and western Ghana. The method was developed and tested in the U.S.A. since independent estimates of forest cover by local area (county) were available from the USDA Forest Service. Estimates of percentage of forest cover for counties, after aggregating AVHRR pixel estimates within each county, were then compared with the independent estimates of county forest cover. For the Illinois region, the overall correlation between cover estimates was 0.89, with even better correlations (up to  $r=0.96$ ) for the counties in close proximity, in the same ecoregion, or in the same major land resource region as the calibration center. For the Smoky Mountain region, the relationships were somewhat degraded due to large influences of pine forests (darker reflectance) in counties outside the hardwood-dominated calibration center, but still were significant.

For the tropical region in western Africa, the forests have been highly fragmented except where nature reserves exist. The method was successful in mapping percentage of forests by

AVHRR pixel. Statistical calculation of confidence intervals revealed a low degree of confidence for any one pixel on the landscape, but also revealed that over the whole landscape, mean forest cover can be estimated with a high degree of confidence.

A similar approach was used to assess forest productivity across a landscape. Only in this case, estimates of productivity derived from plot data were used to calibrate TM data (in a 3 by 3 matrix of pixels around the plot; Cook *et al.* 1989), and the calibrated TM data were then used to calibrate AVHRR data in a manner similar to that described above. This approach was also successful in the United States regions, although not as high correlations resulted from the comparison between the AVHRR method and the independent estimates of productivity obtained by the USDA Forest Service.

The methods described here carry potential for estimating forest cover (and production) across various countries on the globe. In contrast to straight AVHRR methods, where a 1- by 1-km pixel is determined to be forest or nonforest, this approach allows calculation of the forested portion of a pixel, which is advantageous in highly fragmented forests. In contrast to statistical sampling procedures with high resolution imagery (e.g., the FAO method described in these proceedings), this method allows the preparation of maps for large regions or countries. It may be appropriate to use the method in the interim before wall-to-wall mapping with high resolution data is feasible.

### LITERATURE CITED

- Cook, E.A., L.R. Iverson, and R.L. Graham. 1989. Estimating forest productivity with thematic mapper and biogeographical data. *Remote Sensing of Environment* 28:131-141.

- Iverson, L.R., E.A. Cook, and R.L. Graham. 1989. A technique for extrapolating and validating forest cover data across large regions: calibrating AVHRR data with TM. *International Journal of Remote Sensing* 10:1805-1812.
- Iverson, L.R., E.A. Cook, and R.L. Graham. 1990. Estimating forest cover over southeastern United States using TM-calibrated AVHRR data. Pages 1252-1262 in *Proceedings of Global Natural Resources Monitoring and Assessment: Preparing for the 21st Century*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD.

## USE OF REMOTELY SENSED DATA FOR THE ASSESSMENT AND MONITORING OF TROPICAL FORESTS

Armond T. Joyce

**ABSTRACT:** The results of research into the use of remotely sensed data for the assessment and monitoring of tropical forests in Costa Rica are summarized. Remotely sensed data acquired with **Landsat** MSS and TM, aerial photography, thermal scanner, and synthetic aperture radar (**SAR**) data acquired with aircraft were utilized. Geographic Information System (**GIS**) technology was used to analyze the remotely sensed data in conjunction with information on soils, topography, and climate.

The location of forest land shown on existing maps dated 1940, 1950, 1961, 1977, and 1983 were digitized and entered into a GIS data base for Costa Rica. This information was analyzed to determine changes in the extent of the forests. Forest changes were analyzed with respect to relationships to information on soils, life zones, aspects, slopes, and transportation systems that were also input to a **GIS** data base. The results demonstrate the utility of using a GIS approach for analyses and implications as to stratification for forest inventory. The results are presented in detail in a published journal article (Sader and Joyce 1988).

**Landsat** MSS and TM data acquired during 1984, 1978, and 1986 were used to derive the normalized difference vegetation index (**NDVI**), and relationships with ground measures of aboveground forest biomass were analyzed. Relationships with forest biomass were weak; however, it was found that **NDVI** values analyzed over time in a **GIS** context gave insight into the dynamics of forest change (Sader 1988, Sader et al. 1989, Sader et al. 1991).

Another aspect of the research conducted in the study site in Costa Rica involved the use of **SAR** data for forest assessment. To analyze **SAR** data in mountainous; forested areas, it was necessary to construct a model, based on the topographic information in the data base, for purposes of understanding the interaction of **SAR** backscatter with slope and aspect. In this manner, the influence of topography on **SAR**

backscatter can be separated from the influence of vegetation. The relationship between **SAR** backscatter and aboveground biomass varied from poor (no utility) to reasonably good, depending on the forest type. However, it is thought that topographic modeling of **SAR** data can be improved and that additional analysis with more biomass data should be conducted before conclusions can be made about its use for biomass estimation. Nevertheless, it is obvious that the use of **SAR** data for simple interpretations of forest versus nonforest uses of land can be the solution for areas in which persistent cloud cover prevents the acquisition of data with passive sensors. Additional details of these studies have been published by Wu (1990a and b), Wu and Joyce (1988), and Sader (1987).

Other research is currently focused on the use of data acquired with a thermal scanner (8 to 12 micron range) flown in aircraft. The purpose of this study was to evaluate the utility of deriving surface temperature for use in equations for estimating evapotranspiration. The general idea is that surface temperature values derived from remotely sensed data can be used in a GIS context with meteorological point data to improve evapotranspiration estimates for large areas. This information is necessary to understand the effects of forest alteration on the hydrological cycle on both a regional and global basis. The ground truth information was acquired with meteorological instrumentation on towers placed at various

elevational levels. The results showed a good correlation between temperature at the foliage level and absolute surface temperature derived from the remotely-sensed thermal data (Luvall *et al.* 1990, Welch *et al.* 1990 ) .

The research summarized in this paper and other studies contribute to a basis for the operational use of **remotely** sensed data for surveying and monitoring tropical forests at national and global levels. Results of studies also indicate that the use of SAR data, thermal data, and multisensor data sets and multistage sampling have a potential for further advancement in the use of remotely sensed data for tropical forest assessment and monitoring (Sader *et al.* 1990).

### LITERATURE CITED

- Luvall, J.C., D. Lieberman, M. Lieberman, G.S. **Hartshorn**, and R. **Peralta**. 1990. Use of tropical forest canopy temperature, thermal response number and evapotranspiration using aircraft-based thermal sensor. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **56(10):1393-1401**.
- Sader, S.A. 1987. Forest biomass, canopy structure, and **species** relationships with multipolarization synthetic aperture radar data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **53(2):193-202**.
- Sader, S.A.** 1988. Remotesensing investigations of forest biomass and change detection in tropical regions. *Satellite imageries for forest inventory and monitoring: experiences, methods, perspective*. IUFRO 4 . 02 . 05, Hyytiälä, Finland. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes **21:31-42** .
- Sader, S.A. and A. T. Joyce. 1988. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983. *Biotropica* **20(1)**.
- Sader, S.A., G.V.N. Powell, and J.H. **Rappole**. 1991. Migratory bird habitat monitoring through remote sensing. *Int. J. Remote Sensing* **12(3):363-372**.
- Sader, S.A., R.B. Waide, W.T. Lawrence and A.T. Joyce. 1989. Tropical Forest Biomass and Successional Age Class Relationship to Vegetation Index Derived from **Landsat-TM** data. *Remote Sensing Environment* **29(4):143-156**.
- Sader, S.A., T.A. Stone, and A.T. Joyce. 1990. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using non-photographic sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **56(10):1343-1351**.
- Welch, R., T.R. Jordan, and J.C. Luvall. 1990. Geocoding and stereo display of tropical forest multisensor data sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **56(10): 1389-1392**.
- Wu, S.T. 1990a. Assessment of tropical forest stand characteristics with multipolarization SAR data acquired over a mountainous region in Costa Rica. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **28(4):752-755**.
- Wu, S.T. 1990b. Tropical forest stand characterization with L-Band polarimetric radar. *Proceedings of 1990 ACSM-APRS Convention* **4:309-398** .
- Wu, S.T. and A.T. Joyce. 1988. The application of an integrated knowledge based geographic information system for the study of mountainous tropical forest. *Technical Paper of 1988 ACSM -APRS Convention* **6:12-20**.

## ESTIMATING POTENTIAL TROPICAL FOREST BIOMASS OVER SOUTH/SOUTHEAST ASIA

Louis R. Iverson, Sandra Brown, and A. Prasad

In order to better quantify the contribution of  $\text{CO}_2$  added to the atmosphere due to land use change (e.g., deforestation and degradation), geographic information systems (GIS) have been used to assess changing biomass in South/Southeast Asia. The approach taken is applicable in any region of the world. In a case study for Peninsular Malaysia, two detailed forest maps from 1972 and 1982 were digitized into ARC/INFO (a vector based GIS package) for further processing. Forest biomass estimates **were made** for each forest type by region via calculations from forest inventory data (Brown *et al.* 1991); the biomass values were then assigned to the appropriate mapping units. The GIS analysis revealed an overall loss of 18 percent of the forest area and 28 percent of the forest biomass during the decade (Brown *et al.* in press). Furthermore, the change in biomass was directly related to the change in perimeter/area ratio of the remaining forest polygons; this indicates that intact forests are degrading due to encroachment from increasing edges.

In the absence of detailed information for the rest of the region, a "potential" forest biomass map was modeled in ERDAS, a raster GIS software **package, using a** combination of several GIS layers: soils, ecofloristic zones, elevations, and a modified **Weck's** productivity index (based on climate station data). Each layer was ranked independently for its capability to support high forest biomass. Then the four rankings were weighted together to yield an overall map of potential biomass. Biomass ratings, in **mg/ha**, were then assigned to the rankings based on historic inventory data and evaluations of size class distributions for more recent inventories. This map represents the biomass one could expect to find in the absence of all human influences (Iverson *et al.* in press).

The process of "degrading" the potential biomass map to an "actual" biomass map depicting what is believed to be the forest biomass present on the land during the 1980's is now being conducted. To do this, recently inventoried areas and recent vegetation maps are being studied, and the effects of population density and the distance to transportation corridors on forest cover and biomass are being analyzed. Analysis of the resultant maps provide information on the carbon flux due to landscape change.

### LITERATURE CITED

- Brown, S., A.J.R. Gillespie, and A.E. Lugo. 1991. Biomass of tropical forests of South and Southeast Asia. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 11-17.
- Brown, S., L.R. Iverson, and A.E. Lugo. Land use and biomass changes in forest in Peninsular Malaysia during 1972-1982: use of GIS analysis. In V. Dale (ed.), *Effects of Land-use Change on Atmospheric  $\text{CO}_2$  concentrations: Southeast Asia as a case study*. Springer Verlag, NY (in press).
- Iverson, L.R., S. Brown, A. Prasad, S. Liu, H. Mitsova, A.J.R. Gillespie, and A.E. Lugo. Potential and actual tropical forest biomass for South and Southeast Asia. In V. Dale (ed.), *Effects of Landuse Change on Atmospheric  $\text{CO}_2$  concentrations: Southeast Asia as a case study*. Springer Verlag, NY (in press).

# USING REMOTELY SENSED DATA AND GIS TO MAP HURRICANE DAMAGE IN TROPICAL FORESTS

William T. Lawrence

The impact of hurricanes on forest vegetation is a large-scale phenomenon, which has been difficult to assess without extensive ground and aerial surveys. This study uses multispectral data from the **Landsat** Thematic Mapper (TM) to derive maps of forest damage at the landscape scale. The area under study is the northeastern portion of the Caribbean island of Puerto Rico and Luquillo Experimental Forest, one of the United States National Science Foundation's Long-Term Ecological Research (**LTER**) sites, which is comprised of a mixture of secondary tropical forest communities distributed across a highly dissected topography with a steep elevational gradient. The spectrally based damage assessment operates primarily on the loss of canopy foliage and its effect on the overall forest greenness or vegetation index. Two **Landsat** TM images from 4 years prehurricane and 4 weeks posthurricane were used for change detection and the damage classification. Using a geographic information system approach, the forest damage assessment was stratified by its landscape position in regards to slope, aspect, elevation, and vegetation type and compared to predictions of a previously developed model of expected forest damage and ground observations. Aspect proved to be **the most** powerful indicator of damage class with slopes facing the hurricane winds (north and northwest aspects) being the most highly damaged.

## INTRODUCTION

Traditionally, research in plant community or landscape ecology is a very field intensive endeavor with the scope of most investigations being strongly shaped by the amount of time and staff available for the acquisition of data. In most cases, time and/or field season constraints force a compromise between replication and level of intensity of sampling. When attempts are made to quantify ecological processes at a scale larger than small, tractable field plots, these compromises make adequate sampling and experimental design very tricky at best. The recent large-scale disturbance wrought on a wide range of land cover types on the island of Puerto Rico by Hurricane Hugo has provided the focus of this paper: an investigation into the application of remotely sensed satellite imagery as a tool for the sampling and quantification of storm-related damage at the landscape level.

## HURRICANE HUGO

The eye of this storm (fig. 1) crossed the eastern edge of Puerto Rico in a northwesterly direction on the morning of September 18, 1989. Sustained winds exceeded 224 kph, and the hurricane had a total stay on the island of approximately 6 hours. Hurricane Hugo was a category 4 storm with a recurrence estimated every 60 years. Unusual for a hurricane and fortunate in terms of the reduction in storm damage to the island, the amount of rainfall during the hurricane was much less than that anticipated (200 to 225 mm instead of 500 to 750 mm), which meant that flooding, landslides, and property damage were much less than expected for a storm of this magnitude, and damage was caused mostly by wind.

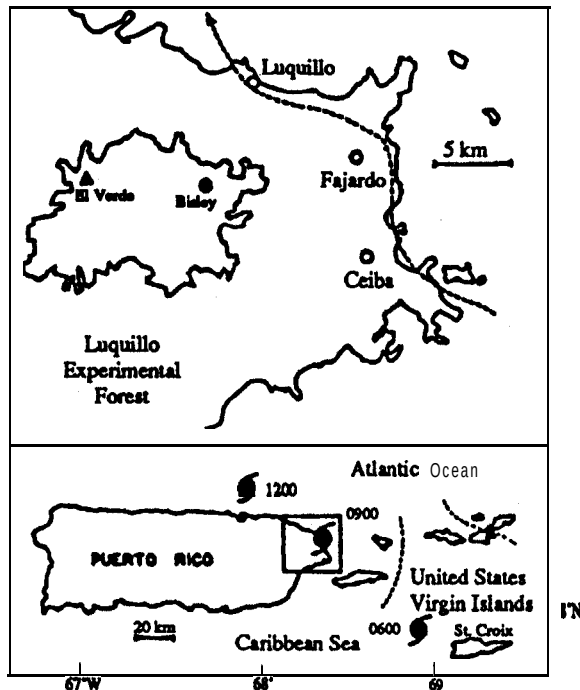


Figure 1. -Path of Hurricane Hugo across Puerto Rico.

### Previous Damage Assessment Work

This work is not unique in its attempt to use remotely sensed imagery and its derived products to assess damage to vegetation. It is, **however, unique in** the nature of the disturbance, a hurricane, and the scope of its impacts, which in Puerto Rico covered hundreds of square kilometers. Other research has used direct observation and spectral indices to gauge damage to vegetation at a variety of levels, ranging from the partial defoliation of trees by insect infestations (Leckie 1987), through deforestation at the hand of man, or from fire, to the tracking of the paths of **tornados** by their swath of destroyed vegetation (Dyer 1988).

### Greenness and Vegetation Indices

Direct comparison of the pixel-by-pixel digital number radiance values for two images is usually not useful in an analytical sense. Slight differences in the sun/surface geometry, atmospheric path length and composition, the season, and/or even changes in sensors may all

affect apparent surface radiance in ways that are easily confused with surface changes that have not taken place. To obviate this problem and others caused by topographic shading, the use of spectral band ratios has been applied with success. A very well-accepted ratioing technique is that of the normalized difference vegetation index (NDVI), which not only reduces problems of seasonality and atmosphere, but can also be derived from a large number of satellites and airborne sensors since it uses the popular red and near-IR bands. In this study the NDVI was chosen to be the prime indicator of changes in canopy due to the effects of Hurricane Hugo. NDVI has been shown to be closely correlated with both the leaf area index and production. As such, it will be useful not only for damage detection but also for later modeling efforts to determine the effect of storm damage on posthurricane production and community succession. The NDVI was calculated as follows for the Thematic Mapper:

$$\text{NDVI} = (\text{DN band 4} \cdot \text{DN band 3}) / (\text{DN band 4} + \text{DN band 3}).$$

## METHODS

### Available Data Sets

The data used in this study come from a wide variety of sources but form part of the Luquillo Forest Long-Term Ecological Research Site Database maintained at the Center for Energy and Environment Research, University of Puerto Rico .

### Digital data

The two sets of digital imagery used in this research were acquired before and after Hurricane Hugo. Both images are from EOSAT, acquired by **the Landsat** Thematic Mapper (TM) for path 4, row 47. The prehurricane image was acquired on January 25, 1985, and the posthurricane image on October 18, 1989, approximately 1 month after the hurricane passed over Puerto Rico. Both images are from 'satellite overpasses at approximately 0930 hours

local civil time. The digital data contain the full seven TM spectral radiance data bands.

### Geographic Information System (GIS) Data

A GIS has been developed for the Luquillo Forest LTER, which also contains **datasets** from wider areas of the island than just the Caribbean National Forest and its vicinity. The **LTER-specific datasets** are rasterized to a **30-** by 30-m **gridcell** with a common map coordinate system (Universal Transverse Mercator **[UTM]**) and include a soils map, a digital elevation model (**DEM**) for the forest, slope, and aspect models derived from the **DEM**, a map of the forest management plan, site maps of various ecological and meteorological observations, and a spectral vegetation classification of the forest. All of these **datasets** have been entered into the GIS by hand digitization, except for the vegetation classification, which was based on the 1985 TM imagery. The DEM was created from contour lines originally digitized at 50 m intervals with an interpolation/surfacing algorithm on the ELAS image processing system at the NASA J.C. Stennis Space Center. Much of the developmental work and data input was carried out by Neil Burns at Stennis during his tenure on a NASA/University of Georgia cooperative Ph.D. program.

### Digital Elevation Models

The DEM created for the Luquillo Forest LTER only covered a small part of the northeastern portion of Puerto Rico (approximately one 7.5 U.S.G.S. **1:24,000** topographic sheet—"El Yunque"). For analysis across the larger land area of the TM images, **1°** by **1° DEM's** were ordered from ERGS Data Center, Sioux Falls, South Dakota. The data were contained on 1,600 bpi g-track tapes as 6 ASCII files organized in a 1,201 by 1,201 matrix of columns and rows of the elevations in meters for gridcells of 3 arc-seconds each. To enter the data into the GIS, the tapes were first read on a networked DEC **VAX 1170**, the files ported to the PC with Sun PC-NFS on Ethernet, and then

further processed to convert the ASCII elevation data points into 16 bit binary data.

### Data Analysis

All the analytical and image processing for this work, beyond initial data input and subsetting of large image files, was done on an Intel 80386 PC with a 3-COM **EtherLink** II card and connections to a local Ethernet with Sun PC-NFS.

### Data Analysis System

PC-ERDAS, version 7.4 (ERDAS, Inc., Atlanta, Georgia) was used on the Intel platform for all of the image processing and GIS-related data analysis, hardcopy production, and **dataset** coregistration and manipulation.

### Software Modules and Functions

The ERDAS software system has a full suite of command line driven programs for image processing, data manipulation, raster GIS modeling, hardcopy output, tape handling, topographic analysis and surfacing, tablet digitizing, image scanning, 3-D image representation, and data conversion, as well as links with vector GIS through ARC/INFO.

### Digital Data and Image Preparation

The two major digital **datasets** utilized for this investigation were the ERGS Data Center **DEM's** and the TM images covering the northeastern quarter of the island of Puerto Rico. The bulk of the data for the Luquillo Forest LTER site (a very small subset of the DEM and TM area coverage) was already in digital format and resident on the system, so little secondary work had to be done on it prior to its use other than subsetting so all **datasets** were the same size. In lieu of direct input of the nine track data tapes to the PC-ERDAS system (ERDAS will load data from tapes, but the system used had no tape drive), the tapes were loaded on a networked VAX and transferred to the PC

a band at a time with **TCP/IP FTP** via Ethernet after initial subsetting using LAS software at NASA/Goddard. The ERDAS LDDATA and SUBSET modules **were used** to convert the single band files into multiband images in the ERDAS format. The DEM files were single bands, but since they were comprised of rows of elevation data reading from south to north and organized from west to east, they had to be rotated (with ERDAS ROTATE) **90°**, and each **1°** file SUBSET into a larger file covering the whole study area.

### Image Rectification and Georeferencing

After reviewing the coverage of the images, an area that they had in common was chosen for the scope of the study. They were not completely coincident since one image was from a full TM scene and the other from a 100 km by 100 km **EOSAT moveable** subscene, which contained much more land area. **UTM-based** maps were not available for all of Puerto Rico, so map coordinates for ground control points (**GCP**) observable in both scenes were acquired from a **1:250,000 Lambert** projection map of the island. The collection of **GCP's** from image and map is an interactive process in ERDAS (GCP module) where points are picked with a mouse from the image on the system display and corresponding map points picked with the digitizing tablet cursor. A set of image **subpixel** coordinate and map **GCP's** was collected for each of the images, and a transformation matrix subsequently generated with ERDAS COORDN. The images were then rectified to the map projection with ERDAS **NRECTIFY**. The coordinates chosen for the image coverage in the **Lambert** projection were 180,000 m easting, 75,000 m **northing** (upper left corner) and 250,000 m easting, 35,000 m **northing** (lower right corner) with a pixel size of **28.5 m by 28.5 m**. A nearest neighbor algorithm was used to assign digital numbers (**dn**) to the resampled, linearly rectified resultant image. The approach followed in rectification of the **DEM's** was similar, except that the rectified TM image from 1985 was used as the source of map coordinates for the selection of **GCP's** from the DEM image. Selection of ground control points was complicated by the fact that the three **arc-**

second pixels of the DEM were approximately 100 m by 100 m, or more than nine times coarser than the TM image, and much of the shoreline and associated landmarks were lost in the DEM since their elevation was less than the 1 m minimum elevation of the DEM. The DEM was rectified to the same area as the TM images, but a cubic convolution filter was used to derive the smoothed 28.5 m pixels of the resultant rectified image from the larger pixels of the original data.

### Masking of Clouds

Unlike coarser resolution satellite imagery (e.g., NOAA **AVHRR**) where subpixel-sized clouds may not be readily apparent, clouds are clear in the nominal 30 m by 30 m pixels of the TM. The January 1985 TM image was nearly cloud free, but the October 1989 posthurricane image was heavily clouded. Unfortunately, heavy cloud cover is a common occurrence in mountainous tropical areas, so the posthurricane image was the only data available for this study and had to be used. To mask the many, irregularly shaped cloud masses, a spectral classification scheme was devised that used the bands that showed the widest spectral separation of clouds from clear land surface areas. A subset of the 1989 TM image was made containing only the bands 3 and 6 (red and thermal IR), which met these criteria, and the ERDAS SEED module used to build classification statistics for clouds by on-screen digitizing of training fields. The spectral statistics for clouds and not-clouds were used for supervised classification of **the scene** (ERDAS **MAXCLAS**) into 12 cloud and 8 land cover types. This resultant image was changed from 1 of 20 classes to a binary image of clouds (value **0**) and not-clouds (value **1**) with ERDAS RECODE, and this image was used as a mask overlay (ERDAS MASK) to pass only the **cloud-free** areas of the 1989 image into a new file with clouds coded as 0 in all 7 bands of the image. Since images of exactly the same size and coverage were to be used in this pre- to posthurricane comparison, the mask was also used on the 1985 image to mask out areas that **were** covered with clouds in the 1989 image.

This insured that comparative statistics would be truly comparable.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of Digital Imagery

Errors involved in the linear transformation of the 1985 and 1989 TM images in the rectification process were less than 1 pixel rms ( $<28.5$  m), so direct pixel-by-pixel comparisons can be made between the images with a good deal of confidence. Confidence in the DEM derived from the 3 arc-second data is lower, with an rms error of 2.8 pixels ( $<90$  m), due in part to the large size of the DEM **gridcell** and the use of once-rectified imagery to match the elevation contours to pixels of known map projections. The process of cloud masking showed that approximately 28.5 percent of the 1989 TM image was covered by clouds. This area was excluded from analysis in both the 1989 and 1985 images.

### Analysis of Simulated Natural Color Images

Images of the pre- and posthurricane landscape were compared visually on the ERDAS 32 bit image display (256 levels of brightness for each of the red, green, and blue channels displayed for TM bands 3, 2, and 1 corresponding to red, green, and blue, respectively). A cursory inspection shows the nonforested vegetated areas to seem greener in the 1989 than in the 1985 image. This may be due to **phenological** and drought-related differences between the two dates of TM data acquisition. The prehurricane image was acquired in late January, the beginning of the period with the least rainfall on the north coast of Puerto Rico. At this time, the grasses that dominate abandoned pastures, disturbed areas, and agricultural areas would be drier than in October, the date of the posthurricane image. In secondary forests and areas known to have extensive mangroves, a marked difference is clear between the two images. The posthurricane image was very brown where the prehurricane image was dark green. This is easily explained

and corroborated by ground observation. The difference is due to dry foliage from the vast areas of defoliated and downed trees.

### Analysis of Simulated False Color Infrared Images

Images displayed with red, green, and blue colors assigned to TM bands 4, 3 and 2 in **near-IR**, red and green show a uniform loss of brightness after the hurricane. The loss of foliage and its high reflectance in the near-IR accounts for much of this change. The brownest areas in the natural color imagery correspond closely to those areas with the least false color IR brightness, both being related to dead foliage on the ground and/or defoliation.

### Cloud Cover Effects

Although clouds were successfully masked from the images, the effect of cloud shadowing could not be corrected. The areas in cloud shadow are in clear view of the satellite, but under a diffuse-only irradiance rather than the direct plus diffuse of nonshadowed areas. This is much the same problem as the topographic shading due to the combination of low solar elevations during the **Landsat** TM overflight and mountainous terrain that affects much of this imagery. However, the use of NDVI ratioing techniques reduces much of the error in comparing fully sunlit to diffusely illuminated areas.

### Derived Data from Imagery and Other Datasets

Several **datasets** were derived for comparative purposes in this project, including NDVI maps for the pre- and posthurricane images, digital elevation models for both the forest and the whole of the area of the TM images, slope and aspect maps based on the **DEM's**, and a spectral classification of the vegetation across the TM image into land cover types for stratification with the NDVI change detection.

## Maps of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

The calculation of NDVI was discussed previously, but was based on the ratios of the **TMnear-IR** and red bands. **NDVI was calculated** for each pixel in both of the TM images with the ERDAS ALGEBRA module, which allows band math to be done within and between digital datasets. The values for the results of each calculation can be coded as either 8 or 16 bits, with manual or automatic scaling provided within the program. A range of NDVI's of -0.25 to 1.0 was found to encompass 99 percent of the pixels in both images, so the 256 level file was manually clipped to this range. There were very clear differences between the **pre-** and posthurricane images in terms of NDVI. The means were 0.45 and 0.33 **pre-** and posthurricane and the standard deviations were 0.19 and 0.21, respectively. The frequency distribution of the NDVI of the two images was also very different (fig. 2) with the prehurricane distribution very peaked near the mean while posthurricane data were much more evenly distributed from low to

midrange values; reflecting a storm impact heaviest on the previously high NDVI vegetation types.

### Changes in NDVI

An image of the difference between NDVI's was made by subtracting the 1985 value from the posthurricane 1989 value for each pixel. Since this subtraction resulted in 256 levels of change, **the data** were aggregated into 11 classes using the ERDAS RECODE module. The classes are detailed in table 1 showing the percentage change attributed to each range of NDVI difference. Overall, the whole image had no change in 8.5 percent of the pixels, a decrease in NDVI in 64.5 percent of the pixels, and an increased NDVI in 27.0 percent of the pixels.

### Elevation Effects

There were no distinguishable effects of elevation on the level of forest damage detected with the NDVI differencing **technique**.

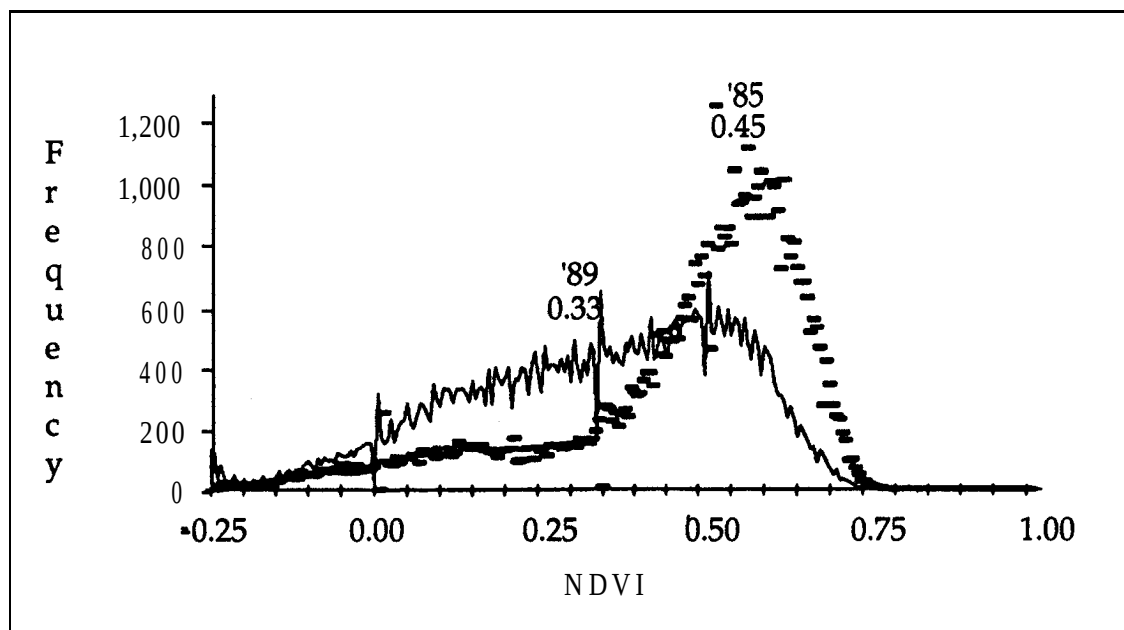


**Figure 2.**—Frequency distribution of normalized difference vegetation index (NDVI) values from prehurricane and **posthurricane** thematic mapper (TM) scenes.

**Table 1.** -Distribution of *normalized difference vegetation index (NDVI) posthurricane change*

| NDVI change    | Percent of image |
|----------------|------------------|
| <i>Percent</i> |                  |
| <-40           | 4.9              |
| -30 to -40     | 8.7              |
| -20 to -30     | 11.9             |
| -10 to -20     | 16.9             |
| -1 to -10      | 22.1             |
| No change      | 8.5              |
| 1 to 10        | 17.9             |
| 10 to 20       | 6.3              |
| 20 to 30       | 1.8              |
| 30 to 40       | 0.6              |
| >40            | 0.4              |

## Slope and Aspect Effects

Slope effects on NDVI were negligible; however, the effect of aspect was clear in the analysis made of the Luquillo Forest area. Forested areas facing the counter-clockwise gyre of **the storm** (mostly north and northwest facing slopes) had the highest concentration of reduction in NDVI (see table 2).

## Vegetation Classification and NDVI Change

The type of forest had a clear effect on the type of change in NDVI observed posthurricane (table 3). Within each class of change in NDVI, the reduction of NDVI was most pronounced in secondary forests and mangrove forests, some of the more "structured" vegetation in terms of its height, basal area, and leaf area index. As the reduction in NDVI was reduced, or actually increased posthurricane, the changes were mostly on the agricultural lands or on areas that were bare soils in 1985. The increase in NDVI of bare soils is probably due to the 1989 image being taken during the wetter part of the year.

**Table II.** -Relationship between slope/aspect and reduction in normalized difference vegetation index (NDVI) in the **Luquillo Forest**

| Aspect class       | NDVI difference |            |            |            |           |      |
|--------------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|------|
|                    | c-40            | -30 to -40 | -20 to -30 | -10 to -20 | -1 to -10 | None |
| <i>Percent</i>     |                 |            |            |            |           |      |
| West to Northwest  | 14.0            | 13.6       | 14.4       | 15.4       | 15.0      | 14.2 |
| Northwest to north | 8.6             | 8.7        | 11.1       | 12.5       | 12.6      | 13.9 |
| North to northeast | 19.0            | 16.9       | 15.8       | 15.7       | 13.8      | 12.7 |
| Northeast to east  | 19.5            | 16.4       | 12.2       | 10.1       | 9.5       | 11.3 |
| East to southeast  | 10.6            | 12.5       | 12.8       | 10.9       | 11.8      | 9.7  |
| Southeast to south | 13.3            | 12.8       | 11.3       | 10.2       | 10.5      | 11.6 |
| South to southwest | 7.7             | 10.2       | 11.9       | 12.9       | 14.4      | 13.9 |
| Southwest to west  | 7.4             | 9.0        | 10.6       | 12.2       | 12.6      | 12.8 |

Table 3.—*Distribution of change in normalized difference vegetation index (NDVI) stratified by vegetation type from 1985 thematic mapper (TM) image*

| 1985 Land cover       | NDVI difference |           |            |           |         |           |         |          |          |          |      |
|-----------------------|-----------------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|---------|----------|----------|----------|------|
|                       | <-40            | 30 to -20 | -20 to -10 | -10 to -1 | -1 to 1 | No change | 1 to 10 | 10 to 20 | 20 to 30 | 30 to 40 | >40  |
| ----- Percent -----   |                 |           |            |           |         |           |         |          |          |          |      |
| Water bodies          | 0.0             | 0.0       | 0.0        | 0.1       | 0.3     | 88.0      | 4.5     | 2.4      | 2.7      | 5.9      | 10.6 |
| Secondary forests     | 39.1            | 30.3      | 22.0       | 15.8      | 9.1     | 0.6       | 2.2     | 0.3      | 0.2      | 0.2      | 0.0  |
| Mangrove forests      | 24.0            | 20.1      | 13.8       | 9.7       | 5.4     | 0.4       | 2.2     | 0.7      | 0.1      | 0.0      | 0.0  |
| <b>Agric./pasture</b> | 3.3             | 3.7       | 4.0        | 4.3       | 4.6     | 0.5       | 2.4     | 0.6      | 0.2      | 0.1      | 0.2  |
| Dry agric. fields     | 11.4            | 19.3      | 29.1       | 34.3      | 36.2    | 4.9       | 47.7    | 64.4     | 54.9     | 26.0     | 8.9  |
| Other cultivated      | 15.3            | 18.9      | 21.0       | 22.0      | 24.5    | 2.9       | 21.1    | 9.45     | 1.3      | 0.5      | 0.3  |
| Urban, bare soil      | 0.2             | 0.7       | 2.6        | 7.9       | 15.4    | 2.1       | 16.3    | 18.2     | 33.9     | 56.6     | 61.9 |
| Urban                 | 0.0             | 0.0       | 0.0        | 0.0       | 0.0     | 0.0       | 0.1     | 0.4      | 1.3      | 3.5      | 8.9  |
| Flooded               | 6.8             | 7.0       | 7.6        | 6.0       | 4.5     | 0.7       | 3.5     | 3.7      | 5.4      | 7.3      | 9.3  |

#### Changes in NDVI Due to Distance From Hurricane

The distance from the hurricane had an effect on the change in NDVI, with the severity of reduction being less apparent with distance

from the path. The effect of distance, however, is not spectacularly clear, possibly due in part to the short distance analyzed (40 km from the path) and the very large-scale defoliation experienced all across this range (table 4).

Table 1.—*Distribution of normalized difference vegetation index (NDVI) change as a function of distance from the eye of the hurricane*

| NDVI change         | Distance from hurricane path (km) |         |          |          |          |       |
|---------------------|-----------------------------------|---------|----------|----------|----------|-------|
|                     | 0 to 5                            | 5 to 10 | 10 to 20 | 20 to 30 | 30 to 40 | >40   |
| ----- Percent ----- |                                   |         |          |          |          |       |
| <b>&lt;-40</b>      | 5.88                              | 9.34    | 9.06     | 3.38     | 2.47     | 2.93  |
| <b>-30 to -40</b>   | 10.32                             | 14.78   | 13.22    | 7.21     | 5.72     | 6.06  |
| <b>-20 to 30</b>    | 13.93                             | 16.21   | 16.07    | 10.92    | 9.96     | 9.32  |
| <b>-10 to -20</b>   | 17.14                             | 15.93   | 18.37    | 17.49    | 16.26    | 17.51 |
| <b>0 to -10</b>     | 16.09                             | 14.40   | 17.25    | 24.68    | 25.61    | 28.95 |
| <b>No change</b>    | 11.99                             | 15.27   | 8.53     | 3.56     | 7.23     | 2.89  |
| <b>0 to 10</b>      | 14.19                             | 10.01   | 11.51    | 21.54    | 21.99    | 22.06 |
| <b>10 to 20</b>     | 5.92                              | 2.84    | 4.38     | 8.34     | 7.35     | 7.09  |
| <b>20 to 30</b>     | 2.58                              | 0.73    | 1.14     | 2.04     | 2.08     | 2.16  |
| <b>30 to 40</b>     | 1.28                              | 0.31    | 0.34     | 0.52     | 0.80     | 0.63  |
| <b>&gt;40</b>       | 0.66                              | 0.18    | 0.13     | 0.31     | 0.53     | 0.40  |

## CONCLUSIONS

It was apparent from this investigation that the large-scale, synoptic nature of remotely sensed imagery can be put to good use in analysis of forest damage. Its utility is not in a highly discriminatory research role of species-level assessment, but in a quantification of **canopy-level** damages. At the landscape level, the damage assessment from satellite data confirmed ground-based observations of the intensity and aspect-related impact of the storm. Of the several possible spectral methods for analysis, the NDVI seemed the most useful for this type of work, especially given the topographic shading and differing sun geometries between images. **The NDVI also** has the benefit of being positively correlated with leaf area index and primary production, so it can be used in later modeling efforts. Several key points were revealed in this study, none of which are particularly unusual, but which point out the utility of the NDVI-based approach. The storm damage was greatest in vegetation types with significant woody biomass, high basal area, and relatively long elapsed time since last disturbance. Slope aspect classes facing the storm winds (north, northwest facing) were the most severely defoliated, and this difference was detectable even given the overall severity of defoliation across all aspect classes. NDVI reduction was also positively correlated to proximity to the eye of the hurricane.

## ACKNOWLEDGMENTS

Many organizations have provided support critical to making this research possible. The primary research funding has come from the National Science Foundation, Long-Term Ecological Research Program in support of the **Luquillo Forest LTER Site** and from the National

Aeronautics and Space Administration University Programs Office in support of a collaborative remote sensing science project (NAGW-849) between the University of Puerto Rico and NASA's J.C. Stennis Space Center, Science and Technology Branch. The U.S. Department of Energy, Office of Health and Environmental Research, provides funds for tropical forest research at the Center for Energy and Environment Research, and funds from NASA's **Landsat** Thematic Mapper Research Program initially acquired the 1985 digital imagery and much of the image analysis equipment used in this project. An Intel 80386 computer was graciously supplied for research and teaching use by Intel Puerto Rico, and ERDAS, Inc. provided the author with the loan of their image analysis and GIS software package (PC-ERDAS vers. 7.4) for analytical use. Direct support of the author while a NASA Summer Science Fellow at J.C. Stennis and Goddard Space Flight Centers is also gratefully acknowledged. The author is currently resident at NASA/Goddard as a National Research Council Senior Research Associate, thanks to the sponsorship of NASA Headquarters Land Processes Branch.

## LITERATURE CITED

- Dyer, Robert C. 1988. Remote sensing identification of tornado tracks in Argentina, Brazil, and Paraguay. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54: 1429-1435.
- Leckie, Donald G. 1987. Factors affecting defoliation assessment using airborne multispectral scanner data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53:1665-1674.

## ESTABLISHING A PROTOCOL FOR GLOBAL POSITIONING IN TROPICAL FOREST ENVIRONMENTS

Gilbert L. Rochon and William G. Cibula

Constraints have been observed in determining global positions for selected locations within tropical forest environments, largely due to closed canopies that interfere with satellite signal reception. Global positioning is critical to accurately integrating surface data with satellite imagery and to overlaying images from multiple satellite sensors.

To address this issue, alternative methods for determining precise global positioning within diverse tropical forest types will be evaluated. The primary study site will be the Luquillo Experimental Forest (**LEF**), a tropical rainforest in northeast Puerto Rico and the only rainforest in North America. Secondary sites will include the **Guánica** Forest, a **dryland** forest in southwest Puerto Rico; the Virgin Islands National Park, an intermediate forest in St. John, Virgin Islands; a mangrove swamp area, near Fajardo, managed by the Puerto Rico Conservation Trust; and a plantation in **Cataño**, Puerto Rico. The intent of the study is to determine the relative benefits and limitations of alternative global positioning methods and to establish appropriate protocols for the different tropical forest environments.

Deploying global positioning systems (**GPS**) in the LEF, which has the same boundaries as the Caribbean National Forest and is popularly known as El Yunque, is particularly crucial, given the designation by the National Science Foundation (NSF) of selected **LEF** sites as **Long-Term Ecological Research (LTER)** zones. The integration of surface data on species habitat with aerial photography and satellite imagery in the LEF is important in that LEF has been shown to contain more biodiversity than the combination of all other national forests under USDA Forest Service management.

Two experimental methods are planned for evaluation. One method, developed by Dr. William Cibula of the Science and Technology Laboratory of NASA's John C. Stennis Space Center in Mississippi, was initially designed for determining global positions for Mobile Bay in Alabama. The method involves obtaining **GPS** readings along the perimeter and subsequently calculating the coordinates for any given position on the surface of the bay, utilizing an array of algorithmic and triangulation techniques. The applicability of this method to a forested environment is potentially extremely useful for obtaining coordinates under closed-canopy conditions.

The second method, pioneered by Dr. Roy Beltz of the **Southern** Forest Experiment Station's Forestry Sciences Laboratory in Starkville, Mississippi, involves the mounting of a **GPS** unit aboard a light plane and obtaining readings during overflights of selected forest areas. A video camera is also mounted on the aircraft in order to confirm the specific location and to **provide** a high resolution imagery layer of LTER sites within the spatial database. The potential utility of this method would be particularly evident for large, closed-canopy forests, for which obtaining perimeter coordinates would be onerous, due to forest size or ruggedness of terrain.

The efficacy of both methods will be determined by two Trimble **GPS** units with Pathfinder software, one to be deployed in situ and the other at a ground control base, with known geodetic coordinates. The use of dual **GPS** units circumvents the deliberate signal degradation by the Department of Defense (DOD), referred to as "Selective Availability," thereby permitting 5.0 m horizontal position accuracy to be achieved.

The opportunity for direct usage of the **GPS** units within the LEF is made possible as a result of yet unregenerated breaks in the LEF canopy caused by Hurricane Hugo. Attempts to establish geopositioning using traditional methods for watershed sites in LEF prior to Hugo were futile, without erecting demarcation towers above the forest canopy. **GPS** readings will be taken, however, at two preexisting above canopy tower sites in the ITF near the El Verde Research Station, comanaged by the **ITF** and the University of Puerto Rico's Center for Energy and Environmental Research (**CEER**). This method is not always feasible or desirable, particularly in those forest areas in which human impact is proscribed.

In addition to obtaining coordinates for the LTER sites, watershed projects, and major roadway intersections, it is hoped that the coordinates for the various boundaries of the major forest types in LEF (i.e., tabonuco, Colorado, palm, and dwarf or elfin forests) can be clearly demarcated for subsequent correlation with remotely sensed imagery and for determination as to the relative merits for development of individuated global positioning protocols for the different forest types.

Surface data elements will include such variables as tree height, soil type, elevation, slope, aspect, ground cover, species habitat, age of stands, disturbance history, use code, crown classification, mean rainfall, inter alia. Imagery available for inclusion in the subsequent geographical information system (**GIS**) range from digitized or scanned aerial photographs, **LANDSAT** Thematic Mapper (TM), TN simulator flown by the Soil Conservation Service, SPOT HRV, Side Aperture Radar (**SAR**), and NASA's CAMS.

It should clearly be noted that the objective for establishing these protocols is to facilitate global positioning strictly for the purpose of georegistering forest surface data with remotely sensed imagery from multiple satellites. As such, the 5 m level of accuracy sought here is more than sufficient since it doubles that of the

highest currently available resolution for satellite imagery.

These methods are not to be confused with an actual geodetic survey of the forest, in which centimeter level accuracy is required. Protocols for conducting geodetic surveys have already **been articulated by the Federal Geodetic Control Committee (FGCCC)** in "Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using **GPS** Relative Positioning Techniques, Version 5.0," reprinted with corrections on August 1, 1989. Accuracy standards for **GPS** surveys of this type are classified as follows:

| Order: | Base Error in cm |
|--------|------------------|
| AA     | 0.3              |
| A      | 0.5              |
| B      | 0.8              |
| (C)    |                  |
| 1      | 1.0              |
| 2 - I  | 2.0              |
| 2-11   | 3.0              |
| 3      | 5.0              |

The prescription against human intervention in segments of the LEF would not allow the degree of monumentation required for the station markers needed to obtain such levels of accuracy.

#### Region/Stratum integration of GPS with GIS

Growing recognition of the relevance of GPS to spatial data base development is evidenced by the upcoming First Annual International **GPS/GIS** Conference, July 29-31, 1991, at the Yellowstone Conference Center, to be coordinated by **GeoResearch, Inc.**

Cooperating researchers for the **GPS** and subsequent GIS project are drawn from staff of the Institute for Tropical Forestry, the Caribbean National Forest, NASA's John C. Stennis Space Center, the Center for Energy and Environmental Research (**CEER**) at the University of Puerto Rico at Rio Piedras, the Center for Applied Remote Sensing and Image

Processing (**CARSIP**) of the University of Puerto Rico at Mayaguez, and Dillard University's Remote Sensing and GIS Laboratory in New Orleans, LA.

The resulting georeferenced spatial database for LEF would be maintained by the Institute of Tropical Forestry in Rio Piedras, PR, for use by forest scientists in a wide range of applications within LEF, including forest inventory, resource management, LTER monitoring, and environmental impact studies. In the report of the NSF Advisory Committee on Scientific and Technological Planning for LTER Projects, chaired by H.H. Shugart, it was noted that GIS represents "the area offering the single most important technology advance for ecosystems studies in the LTER." Moreover, President George Bush, in a statement at the Houston summit, indicated his intention to provide additional resources for the purpose of maintaining **ITF's** status as a world class facility for research on tropical forests.

It is hoped that the protocols to be established as a result of this project may facilitate the global application of remote sensing image analysis, **GPS** and GIS technologies, to managing and protecting tropical forest environments.

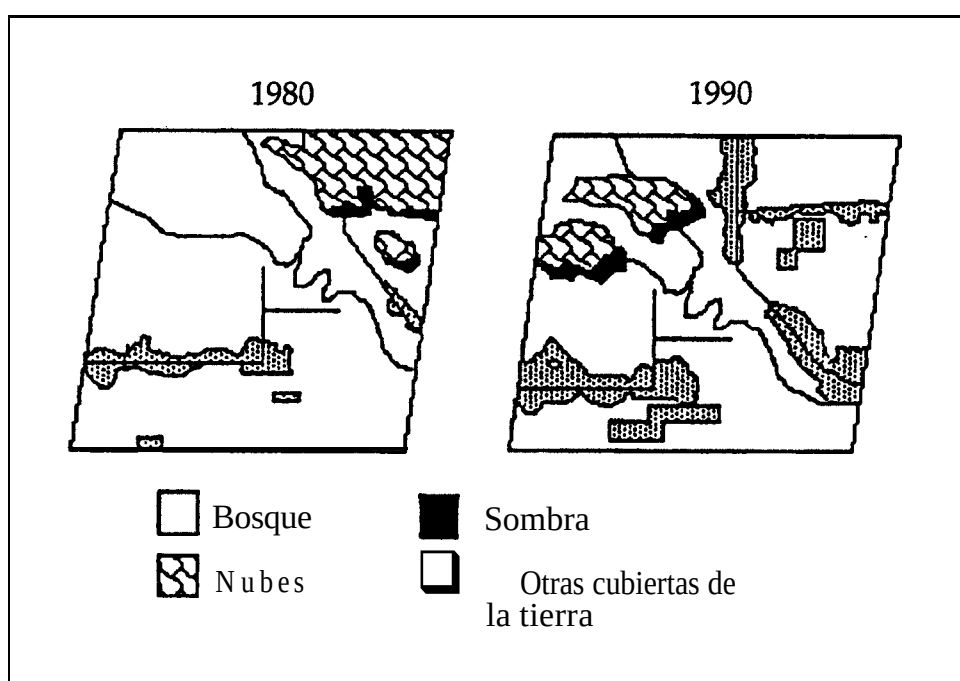
#### SELECTED BIBLIOGRAPHY

- Beutler, G., I. Bauersima, S. Botten, et. al. 1987. Accuracy and biases in the geodetic positioning application of the global positioning system. Astronomical Society, University of **Berne, Berne**, Switzerland. 18 pp.
- Department of Defense World Geodetic Survey System. 1984. Its definition and relationship with local geodetic systems. DMA Technical Report, 8350.2. Washington, DC. Defense Mapping Agency, September, 1987, 125 pp.
- Federal Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5. Washington, DC. Federal Geodetic Control Committee (**FGCCC**), August, 1989.
- Federal Geodetic Control Committee (FGCCC)**, Standards and Specifications for Geodetic Control Networks. Rockville, MD. National Geodetic Information Center, NOAA, September, 1984.
- Goad, CC. (Convener). Proceedings of the First International Symposium on Precise **Positioning with Global Positioning System**. Rockville, MD. National Geodetic Information Center, NOAA, 1985 .
- GPS PATHFINDER™ USER MANUAL PFINDER Software Version 1.20, PolyTRANS Software Version 2.20**, Sunnyvale, CA. Trimble Navigation, Ltd., November, 1989. (645 North Mary Ave., P.O. Box 3642, Sunnyvale, CA 94088-3642 [408] 730-2900).
- Guidelines for Digitizing Project and Station Occupation Data Using the Program **CR8BB**, Version 2.0, NGS, NOS, NOAA, November 25, 1986.
- Guidelines for Submitting Global Positioning System (**GPS**) Relative Positioning Data to the National Geodetic Reference System, Version 1 .1, NGS, NOS, NOAA, November 16, 1987.
- Input Formats and Specifications of the National Geodetic Survey Database**, Volume 1 and 2.
- McDonald, R., B. Parkinson, and C.P. McDonald. A survey of GPS user equipment, applications, and receiver technology trends. Proceedings of the Institute of Navigation Satellite Division First Technical Meeting on **GPS** Navigation. Colorado, Springs, CO: September 23-25, 1987.
- Proceedings of the First International Geodetic Symposium on Satellite Positioning. Defense Mapping Agency (**DMA**) and National Geodetic Survey (**NGS**). Austin, TX. Applied

- Research Laboratories, The University of Texas at Austin, April 28- May 2, 1986.
- Remondi, B.W. Global positioning system carrier phase: description and use. Bulletin Geodesique 59:361-377.
- Vincenty, T.** On the use of **GPS** vectors in densification adjustments. Journal of the American Congress on Surveying and Mapping 47(2):103-108.
- Vonderohe, A. P. Positional accuracystandards, adjustments, and themultipurposecadastre, some research notes. Journal of the American Congress on Surveying and Mapping 46(2):131-135.
- Zilkowski, D. and L. **Hothem.** **GPS** satellite survey and vertical control. Presented at ASCE Specialty Conference **GPS '88.**
- Engineering applications of GPS satellite surveying technology. Nashville, TN. May 11-14, 1988.

*Proyecto de Evaluación de Recursos Forestales 1990*

PROCEDIMIENTO DE **INTERPRETACION** Y RECOPILACION DE DATOS DE **SATELITE**  
DE ALTA RESOLUCION **PARA** EVALUACION DE LA **SITUACION** ACTUAL Y  
EL **CAMBIO** DE LA CUBIERTA FORESTAL



Organización de las Naciones Unidas para la  
Agricultura y la Alimentación

Septiembre 1991

## INTRODUCCION

El Proyecto **emplea** un procedimiento de muestreo **para** estimar el promedio **del** area total de cubierta forestal de **los países** tropicales; la **evaluación del** estado actual y la tasa promedio de cambio de **dicha** area; y la **evaluación** de cambio, apoyado en la **interpretación** de datos de **satélite** de alta resolucidn de fechas multiples sobre sitios de muestreo estadisticamente seleccionados.

El error de **estimación** de **los** cambios, usando un sistema de muestreo basado en interpretaciones de **imágenes** de **satélite** hechas por distintas personas en **períodos** distintos, depende no **sólo del** error muestral, sino **aún más**, de la compatibilidad de las interpretaciones. Por lo **tanto**, el objetivo **del** presente **documento** es establecer **estándares** y procedimientos **para** asegurar homogenidad en la **recolección** de datos **para** este estudio.

El **método** **para** elegir y adquirir **imágenes** de **satélite** **para** el estudio se menciona **sólo** brevemente en el siguiente capitulo. El presente **documento** se concentra en **los** problemas que puedan surgir en la mesa **del** interpretador quien, en este estudio, **desempeñará** el papel **decisivo** de proveedor de datos.

**Para cada** lugar de muestreo, el interpretador **deberá** elaborar:

### DOCUMENTOS DE INTERPRETACION

Formularios **completos** de **Descripción** de la Unidad de Muestreo, con detalles de muestra e **imágenes** de multi-fecha involucradas.

Plantilla de **interpretación** de la imagen **completa** de 1990<sup>1</sup>, **dando los límites del** Area **Común** con la imagen de 1980<sup>1</sup>.

Plantilla de **interpretación** de la imagen de 1980 relativa al Area **Común** con la imagen de 1990.

Plantilla de datos auxiliares relativos a la imagen de 1990.

### ARCHIVOS DE DATOS

**Archivo** de datos relativos a la interpretacdn de la imagen de 1990 **para** el **área** total.

**Archivo** de datos relativos a la **interpretación** de la imagen de 1990 **para** el Area **Común** solamente.

**Archivo** de datos relativos a la interpretacdn de la imagen de 1980 **para** el Area **Común** solamente.

**Archivo** de la **Matriz** de Cambios con resultados.

---

<sup>1</sup>Las **imágenes más** recientes y **antiguas** de un **área** de muestreo dada **serán** llamadas en adelante, **imagen** de 1990 e irnagen de 1980, respectivamente, por **los años** **teóricos** de **obtención**.

Más adelante, se describe **paso a paso** el **método** propuesto de **interpretación** de **imágenes** y el registro y **análisis** de los datos.

## 1. SELECCION Y ADQUISICION DE IMÁGENES (RESUMEN)

Las operaciones preliminares que **conducen** a la **adquisición** de las **imágenes** seleccionadas **para interpretación** son:

- i. Seleccidn estadística de unidades de muestreo. Esta **tarea** se realiza en la **Sec'e del Proyecto** en Roma.
- ii. **Identificación** de **imágenes** de fechas múltiples apropiadas **para** la zona elegida. Los principales **factores** a considerarse son:

Las dos (**o más**) **imágenes** de fechas múltiples **deben** ser de **cinco años** de diferencia por lo menos, de preferencia una cercana a 1980 y la otra a 1990.

El **área** libre de nubes **común** debería ser mayor de un **millón** de ha (aproximadamente **1/3** de la imagen **completa**).

La **estación climática** debe ser la misma en las dos (**o más**) **imágenes** y, de ser posible, la mejor **para observación** de la cubierta forestal.

La **selección** de **las imágenes** por lo general se realiza conjuntamente por **el Proyecto** y las estaciones receptoras.

- iii. **Producción** y **adquisición** de **copias** impresas de las **imágenes** de fechas múltiples. Se puede adquirirlas (comercialmente) o **solicitar** permiso **para** usar las **imágenes** existentes. Las especificaciones principales son las siguientes:

**Imágenes** de un sitio de muestreo **deben** ser corregidas geoméricamente (**corrección del sistema**) a la misma proyección **geográfica**, preferiblemente las proyecciones UTM o SOM.

Alternativamente, si no es factible una **proyección geográfica** UTM por falta de puntos de control u otras razones, las dos **imágenes** **deberán** ser co-registradas. Esto significa que, dada una **corrección** geométrica **estándar** en la **primera** imagen, la segunda debe ser corregida usando la **primera como** referencia.

Escala **para copias** impresas: 1:250,000.

Uso **del** mejor **realce** **para** las delimitaciones de **bosque/vegetación** que **haga** comparables las dos (**o más**) **imágenes**.

Las **imágenes** existentes proporcionadas por **los países** no siempre siguen las especificaciones **estándar** arriba **señaladas**.

Una vez adquiridas las **copias** impresas, la **interpretación** se realiza **siguiendo los** pasos descritos en la **próxima** seccibn.

## 2. PROCEDIMIENTO DE INTERPRETACION

### Paso 1: Delimitación del área de estudio

Para el juego de imágenes de fechas múltiples que cubren una unidad de muestreo dada, verificar si las escalas y proyecciones corresponden.

Preparar tres plantillas usando lámina transparente estable.

Dos plantillas se usan para describir en forma idéntica los límites de la imagen de 1990 y los límites del Área Común dentro de dicha imagen. Las coordenadas geográficas de todas las áreas, es decir las cuatro esquinas de la imagen de 1990 y las cuatro del Área Común, se marcan en las láminas, con la mejor aproximación. Una de estas dos plantillas idénticas se usará posteriormente para la interpretación de la imagen de 1990 y la otra para contener los Datos Auxiliares.

La tercera plantilla se usa para mostrar el área de la imagen de 1980 y los límites del Área Común dentro de la imagen. Esta plantilla se empleará posteriormente para la interpretación de la imagen de 1980.

El área total de la imagen de 1990 representará el área de estudio para la Evaluación del Estado Actual, y el Área Común representará el área de estudio para la Evaluación del Cambio.

Añadir a cada plantilla detalles tales como filas e hileras del Sistema de Referencia Mundial (SRM) del satélite LANDSAT y fechas para las imágenes de 1990 y 1980. El interpretador deberá también anotar en la plantilla su nombre, nombre de la institución y la fecha de la interpretación.

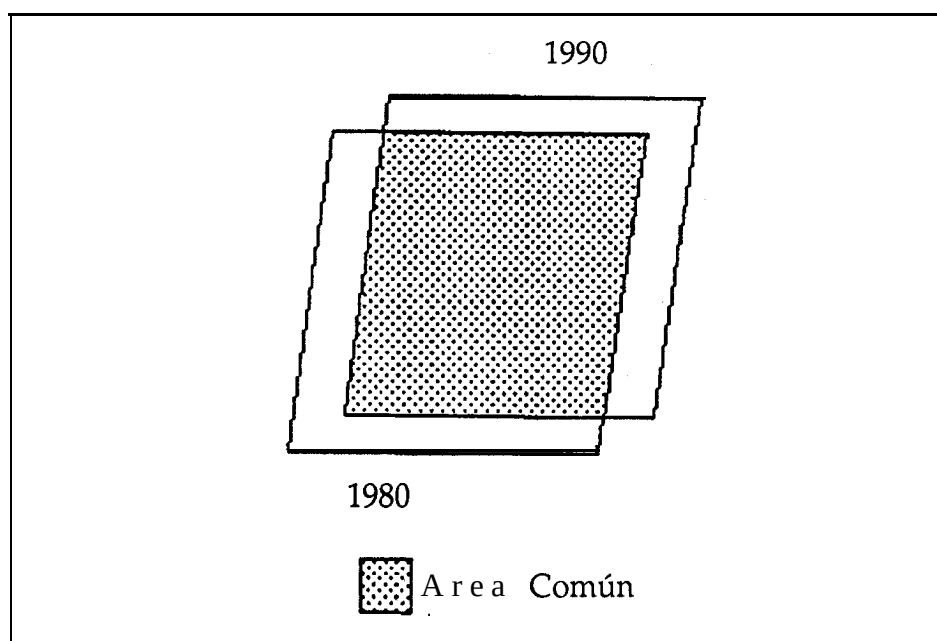


Figura 1.-Delimitación del Área Común.

## Paso 2: Familiarización con el área de estudio

Emplear un **Mapa** de Zonas Ecoflorísticas e **información** de referencia (**mapas** de uso de tierras, **mapas** altitudinales, informes de inventarios, **mapas** o informes de **vegetación**, fotografías aéreas, etc.) **para** determinar las clases principales de **vegetación leñosa** que **están** representadas en el área de estudio y **cómo** estas clases se distinguen en **las dos imágenes**.

Trasladar las principales **zonas** ecoflorísticas a una **lámina** separada: la Plantilla de Datos Auxiliares (**mayores** detalles en el Paso 6 abajo y en el Anexo **Ila**). Esta **estratificación** deberá efectuarse de preferencia antes de iniciar la interpretación de tipos de cubierta, dado que proporcionará importante **información** de base sobre **los** tipos de vegetación y por lo **tanto**, **facilitará** la **tarea** del interpretador. El **mapa** ecoflorista y la **documentación** se **obtendrá** del Proyecto de **Evaluación** de Recursos Forestales de 1990.

Efectuar una **evaluación** preliminar de **cuáles** elementos han permanecido invariables y **cuáles** han cambiado entre las dos imágenes y tratar **de** comprender si **los** cambios son reales o aparentes (tonos o **contrastes** diversos originados por diferentes calidades de imagen, reales, estaciones climáticas, etc.).

## Paso 3: Terminación de los formularios de descripción del área de estudio

Llenar **los** FORMULARIOS DE **DESCRIPCION** **los** **cuales** representan **los** principales documentos descriptivos **del** área en estudio (ver Anexos **Ia** y **Ib**).

Hay dos formularios: El primero, denominado Formulario de **Identificación** (ID), identifica la unidad de muestreo, las **imágenes** empleadas, las coordenadas de las áreas de estudio, etc.; el Segundo, conocido **como** el Formulario de **Evaluación** de Calidad de Imagen, describe la calidad de la imagen y la interpretabilidad de las clases.

### Formulario de **Identificación** (ID):

Este formulario **presenta** todos **los** detalles necesarios **para** la identificación de la unidad de muestreo, tales **como** región, sub-región, **país**, estrato y unidad de muestreo. Contiene **además** especificaciones de datos de satélite, **los** nombres de todos **los** **archivos** **creados** por computadora y las coordenadas **geográficas** de las esquinas de la imagen **completa** de 1990 y **del** Área Común.

En este formulario **también** se identifican **las** clases de **vegetación leñosa** que son claramente identificables en la imagen reciente **para** la Evaluación de la **Situación** Actual y las clases que son claramente (**y** confiablemente) distinguibles en ambas **imágenes** **para** la **Evaluación** del Cambio. Lo **último** obviamente dependerá de la **interpretación** de la imagen de calidad inferior (generalmente la imagen MSS “antigua”). Con frecuencia, la **clasificación** empleada **para** la **Evaluación** de la **Situación** Actual puede ser **más** detallada que aquella **para** la **Evaluación** del Cambio.

Ambos niveles de **clasificación** **deben** ser consistentes con (**y** derivados de) el “Esquema de **Clasificación** (general) **para** la **Interpretación** de Datos de **Satélite** de Alta **Resolución**” descrito en el Anexo **Ila**.

Las clases de Evaluación de la **Situación Actual** **deben** ser agregadas sin **ambigüedad para formar** clases simples de Evaluación de Cambio. En el Anexo **Ib** se **presenta** una Clave de Interpretación **para** distinguir las clases con facilidad.

Los dos niveles de **clasificación** y **los códigos** de clases propuestos se muestran en la Tabla 1 (**página siguiente**).

El FORMULARIO ID **llevará** bajo “observaciones” **los** comentarios **del** interpretador sobre las clases identificadas, tales **como** la correspondencia de **éstas** con nombres locales de tipos de bosques. Asimismo, el analista **deberá** opinar sobre la confiabilidad de la delimitación de clases en las **imágenes** reciente y anterior. Esta evaluación de la confiabilidad es importante, dado que **señalará** las clases **para** las cuales se **juzga** apropiado realizar un **análisis** de cambios.

Mientras que la **evaluación del** cambio de las diez clases **principales** se realiza en **formato estándar** (como se explica **más** adelante), la evaluación **del** cambio de las clases adicionales se **llevará a cabo sólo para** aquellos **lugares** cuya delimitación en ambas **imágenes** sea **confiable**.

### **Formulario de Evaluación de Calidad de Imagen:**

En este formulario, se califica la calidad de **cada** imagen de **satélite** que abarca la unidad de muestreo.

Con **respecto** a la imagen de 1990, se **evalúa** la **interpretación** de **cada clase** sobre la base del nivel de confiabilidad de su **delimitación** y **separación** de otras clases.

Tal interpretabilidad depende de dos **factores principales**:

- calidad** de imagen

- conocimiento** por parte **del** interpretador de la apariencia, **patrón** y **ubicación** de **los** tipos de cubierta vegetal dentro **del área** de estudio.

Dependiendo de la confiabilidad de la **delimitación** de clases, el interpretador **indicará para cada clase** si se requiere una **verificación de campo** para confirmar las clases dudosas. Asimismo, el interpretador **señalará** el tipo de **verificación** que se **realizó** (terrestre o **aérea**) **para** las clases examinadas en **campo**.

### **Paso 4: Interpretación de la imagen de 1990**

Realizar la **interpretación** de la imagen reciente en la plantilla de 1990 **para** la **evaluación** de la **situación actual** (o sea, sobre la imagen **completa** y al nivel de detalle que se pueda disponer con fiabilidad, incluyendo Clases **Principales** y Adicionales), siguiendo la Clave de **Interpretación** descrita en el Anexo **Ib**. Esta plantilla de **interpretación** contendrá **además los límites del** Qrea cubierta por la imagen de 1980 (Área **Común**).

**Para** facilitar la subsecuente entrada de datos, es importante asignar y **marcar** claramente las **áreas** delineadas, **tanto para** la imagen de 1990 **como** la de 1980, con el **código** de la **clase** de interpretación correspondiente.

Tabla 1 .-Clases de interpretación

| CLASES PRINCIPALES                                                                  |        | CLASES ADICIONALES                                                                                                                                                                                                                                                    |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| (nivel <b>mínimo</b> de clasificación para evaluación de cambios)                   |        | (clases <b>más</b> detalladas interpretadas en imágenes recientes para evaluación de estado actual; estas clases se pueden usar para evaluación de Cambios <b>únicamente</b> si aparecen <b>claramente</b> y <b>confiablemente</b> en las imágenes para ambas fechas) |        |
|                                                                                     | CODIGO |                                                                                                                                                                                                                                                                       | CODIGO |
| Otras Cubiertas de la Tierra<br>(áreas <b>urbanas</b> y agrícolas, <b>caminos</b> ) | 0      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
| <b>Agua</b>                                                                         | 1      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
| Cobertura de <b>Vegetación</b>                                                      | 2      | Plantaciones forestales                                                                                                                                                                                                                                               | 22     |
| <b>Leñosa</b> Artificial                                                            |        | Plantaciones agrícolas                                                                                                                                                                                                                                                | 23     |
| Arbustos                                                                            | 3      | Arbustos ralos<br>(C. de <b>copa 10-40%</b> )                                                                                                                                                                                                                         | 33     |
|                                                                                     |        | Arbustos densos<br>(C. de <b>copa &gt;40%</b> )                                                                                                                                                                                                                       | 34     |
| Bosque fragmentado                                                                  | 4      | <b>Fracción</b> de bosque 10-40%                                                                                                                                                                                                                                      | 44     |
|                                                                                     |        | <b>Fracción</b> de bosque 40-70%                                                                                                                                                                                                                                      | 45     |
| Bosque abierto<br>(C. de <b>copa 10-40%</b> )                                       | 5      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
| Bosque <b>denso</b><br>(Cobertura de <b>copa &gt;40%</b> )                          | 6      | Bosque <b>denso</b><br>(C. de <b>copa 40-70%</b> )                                                                                                                                                                                                                    | 66     |
|                                                                                     |        | Bosque <b>denso</b><br>(C. de <b>copa &gt;70%</b> )                                                                                                                                                                                                                   | 67     |
| Impacto agrícola:                                                                   |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
| <b>Barbecho</b> corto<br>(área de cultivo > 33%)                                    | 7      | Áreas de nieve, áreas rocosas                                                                                                                                                                                                                                         | 77     |
| <b>Barbecho</b> largo<br>(área de cultivo <33%)                                     | 8      |                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |
| Otros, sin <b>interpretación</b> :                                                  | 9      | Sombras, sombras de nubes                                                                                                                                                                                                                                             | 97     |
|                                                                                     |        | Sombras de <b>montaña</b>                                                                                                                                                                                                                                             | 98     |
|                                                                                     |        | Fuera <b>del</b> área de estudio                                                                                                                                                                                                                                      | 99     |

**Nota:** Los **códigos** de **clase** se han elaborado **para** facilitar la entrada de datos por teclado.

## Paso 5: Interpretación de la imagen de 1980

Interpretar en la plantilla separada de 1980, la imagen de 1980 dentro del Área Común.

Esta es la **etapa más** crucial en la **evaluación** de cambios de la cubierta forestal. Por lo **tanto**, es importante **seguir** cuidadosamente **los** procedimientos **para asegurar** máxima **precisión** y consistencia en **los** resultados.

Con **el propósito** de identificar el procedimiento **más** apropiado de **interpretación**, se ha probado en una región de Zaire tres **métodos** diferentes y comparado **los** resultados (ver **Informe** de Proyecto: “**Interpretación** de datos de **satélite** de **alta** resolución y **compilación** de resultados **para** evaluar la **situación** actual y el cambio de la cubierta forestal, **escenario** de prueba: Zaire). Los procedimientos de **interpretación** ensayados se describen en **más** detalle en el Anexo IIc.

La interpretación de la imagen de 1980 se **efectúa** completamente (sobre el Área **Común**) con continua referencia a la interpretación de 1990 mientras se la superpone a la imagen de 1980. Este procedimiento ofrece una interpretación **completa** de la imagen de 1980, con **las clases** que han cambiado y con las que han permanecido invariables.

Si la **interpretación** anterior “trastoma” a la nueva **delimitación**, se puede retirar la plantilla de 1990, llevar a **cabo** libremente la nueva **interpretación** y posteriormente, superponerla **para** verificar posibles **inconsistencias**.

En el **caso** de que las dos **imágenes** no presenten la misma **proyección** geográfica sino muestren **una relativa distorsión entre ellas**, la **plantilla de interpretación de 1990 no encajará perfectamente** sobre la imagen de 1980. La **interpretación** de la imagen de 1980 **tendrá que realizarse** por ajuste **continuo** de la plantilla de 1990 sobre la imagen de 1980, empleando **como** puntos de control aquellas características claramente visibles en ambas **imágenes**. De este modo, la plantilla de 1980 **será** manualmente co-registrada a la de 1990, superándose el **problema** de la **distorsión**.

Como se **señala más** adelante, la plantilla de 1990 contiene todas las **clases**, **Principales** y **Complementarias**, derivadas **del análisis** de la imagen **más** reciente. Por consiguiente, se puede anticipar que en vista de la probable calidad pobre de la imagen anterior, algunas de las **clases** complementarias de la plantilla de 1990 no **serán** completamente visibles en la imagen de 1980. En tal **caso**, no es posible decir si estas **clases** han cambiado de una a otra, mientras se encuentran dentro de la misma Clase Principal.

Ejemplo: la plantilla de 1990 **presenta** “66” (**bosque** cerrado, Cubertura de **copa** 40-70 por ciento) y “67” (**bosque** cerrado, C. de **copa** >70 por ciento) **como** dos **clases** limítrofes. Si estas Clases Complementarias no se distinguen en la imagen de 1980, ambas **serán** codificadas **como** “6” (**BOSQUE CERRADO, c.c. >40** por ciento) que representa la Clase Principal (**Matriz**).

Estas diferencias de interpretabilidad de **clases** entre las dos **imágenes** empleadas **deberán señalarse** con claridad en la DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE MUESTREO FORMULARIO DE IDENTIFICACIÓN (ID).

**Para** facilitar la distinción entre las delimitaciones y **los códigos** de interpretación de 1990 y 1980 (ambas en **láminas** transparentes), se aconseja emplear, sobre la plantilla de 1980, un lapicero

de otro color. Esto **permitirá además que el** trabajo posterior de ingreso de datos sea **más preciso y cómodo**.

### **Paso 6: Plantilla de datos auxiliares**

Transferir o delimitar la **información espacial** adicional sobre el área cubierta por la imagen de 1990 en una **lámina** aparte, la Plantilla de Datos Auxiliares.

Esta **plantilla deberá** incluir **los** siguientes **aspectos**:

1. Zonas Ecoflorísticas
2. Subdivisiones Administrativas
3. Manglares

Esta **estratificación deberá** efectuarse de preferencia antes de iniciar la **interpretación** de tipos de cubierta, dado que proporcionará importante **información** de base sobre **los** tipos de vegetación y por lo **tanto facilitará** la **tarea del** interpretador. El **mapa** ecoflorista y la **documentación** se **obtendrá del** Proyecto de **Evaluación** de Recursos Forestales 1990.

(ver Anexo **Ila**, Parte 4, **para** una descripción detallada)

### **3. VERIFICACION DE CAMPO**

Un requisito importante **para** la **interpretación correcta** de los datos de **satélite** es el conocimiento general **del** área de estudio.

A pesar de que la **información** de base y auxiliar **como mapas** de **vegetación** y **uso** de tierras pueden ser de ayuda importante **para** la **identificación** de tipos de cubierta de vegetación, el conocimiento personal **del** área de estudio por parte **del** interpretador **garantizará** mayor nivel de precisión en la **delimitación** de **clases**.

Si no se cuenta con tal conocimiento **para el** área específica de estudio, se aconseja realizar una interpretación preliminar de la imagen de 1990 y verificarla luego en el **campo**.

La opinión **del** interpretador sobre el nivel de **interpretación** de **cada clase** y la necesidad de **verificación** de **campo** **será** registrada en el formulario de **evaluación** de calidad de imagen (ver Anexo **Ib**).

Considerando las grandes dimensiones **del** área de muestreo **-que para** la evaluación de la **situación** actual es de 185 km x 170 km- un recorrido **convencional** por tierra **del** área **completa** requeriría una gran cantidad de tiempo y medios, y en **algunos casos** podría ser imposible de **realizar**.

En este **caso**, el reconocimiento aéreo es un sistema **mucho más** apropiado de **verificación**. Con una avioneta es posible atravesar el área cubierta por una imagen de **satélite** en **cerca** de dos o tres horas. Con un plan apropiado de vuelo se puede verificar todas las **clases** dudosas **para** posterior corrección y **culminación del** trabajo de **interpretación**.

La **toma** de fotografías durante **el** vuelo y la **ubicación** precisa de ellas en la imagen de **satélite** **constituirán** una importante **documentación**. Tales fotos, en **combinación** con la apariencia de las **áreas señaladas** en la imagen de **satélite**, **serán** muy **útiles** para la **preparación** de **claves** de interpretación, **que** permitan que la experiencia adquirida por el **analista** **esté** disponible a **los demás**.

Actualmente no se puede establecer un plan **estándar** de **verificación** de **campo**, dado que ello implicaría dimensiones **logísticas** y **costos** que por el **momento** **están** fuera **del** alcance **del** Proyecto.

#### 4. **PROCEDIMIENTO PARA COMPILACION DE DATOS Y ELABORACION DE LA MATRIZ DE CAMBIO**

##### **Objetivos**

Los resultados requeridos **del** estudio de **cada** muestra consistiran en estadísticas de area por **clase** **para**:

- Imagen** de 1990 total **para** la **evaluación** de **situación** actual.
- "Area Común"** de la imagen de 1990 **para** la **evaluación** de cambio.
- "Area Común"** de la imagen de 1980 **para** la **evaluación** de cambio.
- Matriz** de **transición** (denominada "Matriz de Cambio").

La **Matriz** de Cambio cuantifica la **transición** de area entre las **clases** de **interpretación** que han tenido lugar dentro **del** Area **Común**, entre las fechas de **adquisición** de imagen.

Mientras que el **cálculo** de areas es un trabajo relativamente simple que puede ser efectuado de diversos modos por **conteos** independientes (por **retícula** de puntos o planimetro), la **compilación** de la **Matriz** de Cambio es posible **sólo** si hay una **relación espacial** precisa entre **los** juegos de datos de 1980 y 1990 que **permitan** la **evaluación** **del** mismo lugar en ambas fechas.

El **problema** de correspondencia **espacial** entre dos juegos de datos puede ser **superado** por medio **del** Sistema de Información **Geográfica** (SIG). Pero la necesidad de **contar** con **formato** y procedimiento **estándares** **para** su uso por parte de diferentes personas en **diversas** partes **del** mundo, **hace** impracticable el empleo **del** SIG en el presente ejercicio.

La **solución** alternativa es un **sistema** diseñado **para** operar en computadoras personales (compatibles con IBM) empleando un **programa común** de hoja extendida (LOTUS 123), en **combinación** con una reticula de puntos de **tamaño** adecuado.

##### **Sistema de Compilación Estándar**

Se **propone** un **sistema** normalizado **para** el **cálculo** de areas y almacenamiento de datos **para** **fácil** recuperación y producción de matrices. Este sistema mantiene un registro general de las relaciones espaciales de las **diversas** **clases**.

Se basa **en una** reticula de puntos en una **lámina** transparente estable con 8 mm de espaciamiento, donde **cada célula** a escala de **1:250,000** representa 400 ha. La reticula tiene un **tamaño** de 100 x 100 **células** (80 cm x 80 cm) a fin de cubrir, en una **sola operación**, una imagen **completa** a escala de **1:250,000**.

La reticula de puntos tiene **números de identificación de columnas** y filas que **permiten** una **identificación única** de **cada punto**. **Cada punto** corresponde a una **celda** de un **archivo** computarizado de **hoja** extendida (LOTUS 123) donde tambien se **señalan los números de identificación de columnas** y filas. En el Anexo IV se muestra un ejemplo de **archivo de hoja** extendida.

La reticula de puntos se sobrepone a la imagen de 1990 (con su plantilla de **intepretación**) cubriendo la **lámina** por **completo**. El lado inferior y la esquina inferior izquierda de la reticula **deben** coincidir con sus correspondientes de la imagen, **como** se muestra en la Figura 2.

Cuando la reticula ha sido colocada correctamente sobre la imagen, se registran **los códigos de clasificación de cada punto en cada archivo** de hoja extendida en la correspondiente **ubicación**. Las porciones de la reticula fuera del area de estudio se registran tambien con un **código** específico.

Siempre se debe iniciar el registro de datos **después** que se **haya** concluido el trabajo de **interpretación**, **para** las dos **imágenes** de 1990 y 1980. En efecto, es frecuente que durante el **análisis** dela segunda imagen surjan razones que obligen a retomar a la **primera**, ya interpretada, **para** modificar algunas delimitaciones.

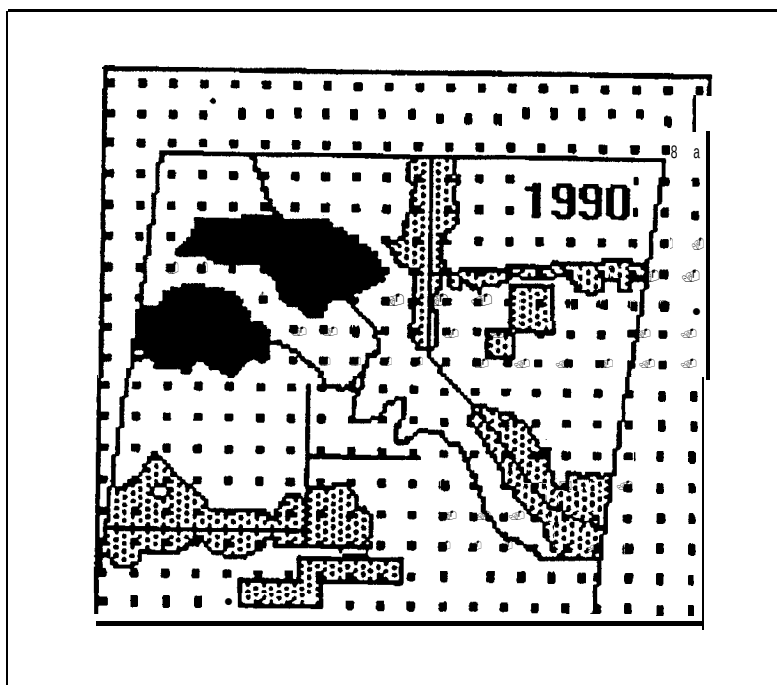


Figura 2.—*Posición correcta de la reticula sobre la imagen*

La correspondencia entre ubicaciones de puntos en las **imágenes** de 1990 y 1980 (**y** las plantillas de **interpretación**) es un requisito esencial **para** una **estimación correcta** de **los** cambios.

A continuación se **esboza** un sistema **práctico** que **permite** ubicar la retícula sobre la imagen de 1980, **para** mantener **los** puntos en la misma **posición**:

- (i) Colocar la retícula sobre la plantilla de 1990 **según** indicado arriba y fijarla **firmermente** en un lado, conservando la posibilidad de levantar el otro.
- (ii) Ingresar **los** datos de 1990.
- (iii) Insertar la plantilla de 1980 entre la lamina de 1990 y la retícula. Controlar y ajustar la **posición** de la plantilla de 1980 a aquella de la de 1990.
- (iv) Ingresar **los** datos de 1980.

Se **aconseja** mantener la imagen **respectiva como** lamina de base mientras se ingresan **los** datos. La presencia de **ella permite** controlar, y en **caso necesario** corregir inmediatamente la **interpretación** o asignar el **código correcto** de la **clase** si falta un **código en** la plantilla.

La presencia de las plantillas durante el ingreso de datos de 1980 **permite** una **verificación** de **precisión**.

Se puede recopilar **los** datos de 1980, efectuando cambios a una copia de **los** datos computarizados del Area **Común** de la imagen de 1990. Mientras semodifican **los** **códigos según** la **interpretación** de 1980, es posible (**y prudente**) verificar **los** **códigos** de 1990 de la **clase** visible en la plantilla de 1990.

A fin de evitar confusion entre las designaciones de las plantillas de 1990 y 1980, es aconsejable insertar una lamina de acetato semi-transparente entre las dos plantillas. De esta **manera**, ambas **serán** visibles pero **con** una fuerte diferencia en **contraste**.

Si se observa alguna inconsistencia en el juego de datos de computadora de 1990 cuando se **están** ingresando **los** datos de 1980, se debe registrar la **corrección** necesaria (columna, fila, **código incorrecto, código correcto**) **para** modificar posteriormente **los** datos de 1990.

El procedimiento de **compilación** de una unidad de muestreo, presentado en la Figura 3, sigue **los** pasos descritos a **continuación** (ver Anexo III **para** una **descripción completa** **paso por paso**). Después de **cada** **paso**, se **crea** un nuevo **archivo**.

Archivos de  
Salida

1. Colocar la retícula sobre la imagen de 1990. Recuperar el **archivo GRID.wkl** e ingresar **los** **códigos de interpretación para** la imagen **completa**. Calcular la **relación** frecuencia / **área** de **cada** **clase**, usando el comando "data distribution", y grabarlo con su **respectivo** nombre de **archivo**:

xxyyFO90

## Archivos de Salida

2. **Reducir el archivo** creado en Paso 1 al Area **Común (entrar cddigo 99 para los puntos que no entran en la Area Comiin y grabarlo con un nuevo nombre:**  
xxyyCO90
3. Colocar la imagen de 1980 debajo de la reticula. Cambiar **los cddigos del archivo** creado en Paso 2 **según** la' imagen de 1980 y grabarlo:  
xxyyCO80
4. Transformar **los codigos originales del archivo** creado en Paso 3 a **los** codigos de Clase Principal usando MACRO \A y grabar:  
xxyyCM80
5. Recuperar el **archivo** creado en Paso 2, modificar **los códigos** a Clase Principal usando MACRO \A y grabar:  
xxyyCM90
6. Combinar **los archivos creados en Pasos 4 y 5 (que contienen solo codigos de Clase Principal y tienen el mismo tamaño) y producir** la Matriz de Cambios usando MACRO \B y grabar:  
xxyyCMMX

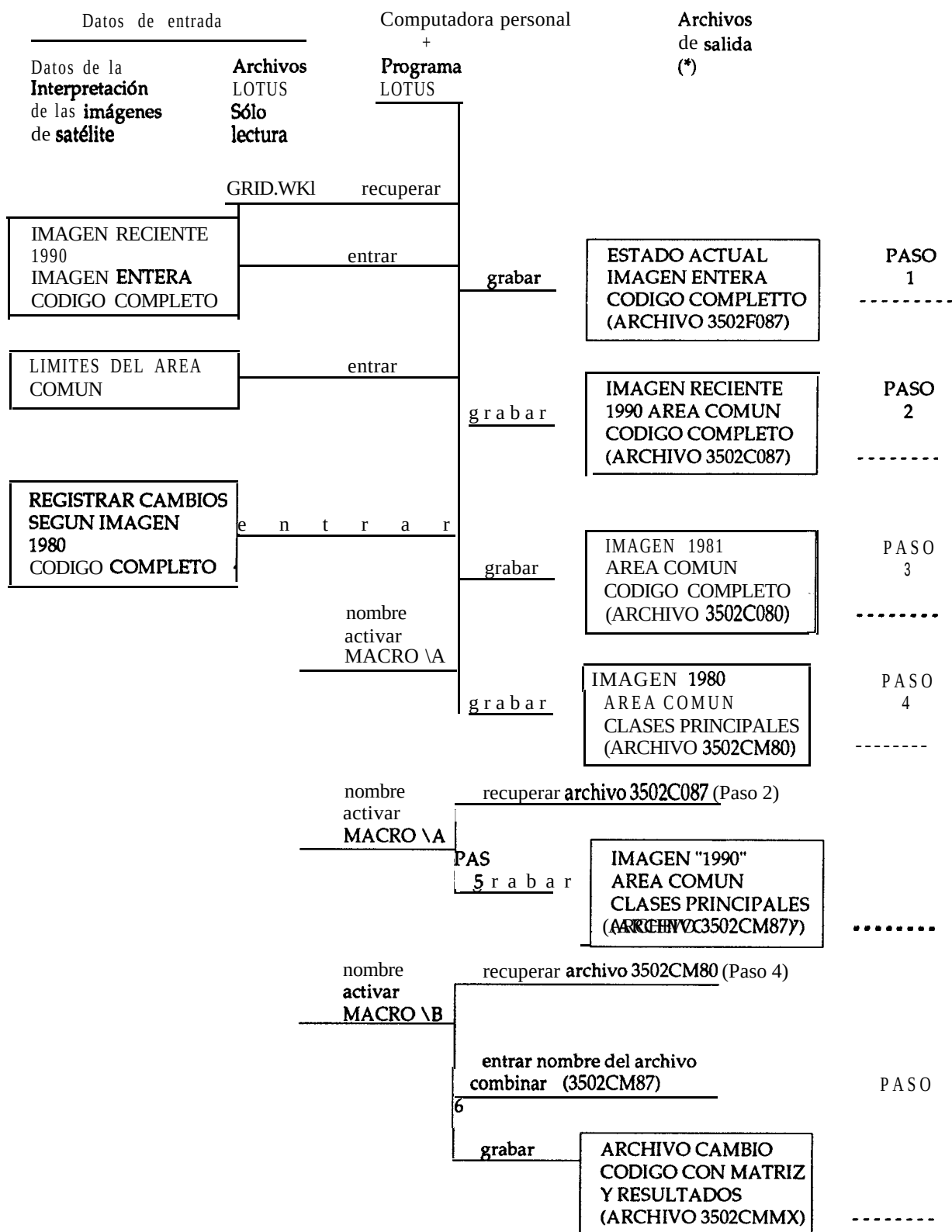
Los nombres de **archivos** se escriben de modo tal que identifican claramente la unidad de muestreo y el contenido **del archivo**:

- xx = dos digitos (numéricos) para identificar a la sub-region.
- yy = dos digitos (numéricos) para identificar a la unidad de muestreo.
- F o C = este **código** indica si el **archivo cubre** la Imagen Completa (F) o **sólo** el Area Común (C).
- O o M = este **código** indica si el **archivo** contiene los codigos de **clase** Original (O) (clases Principal y Complementaria) o **sólo** los cddigos de Clase Principal.
- "90","80"  
o m x = estos dos **últimos** digitos representan el **año** de la imagen (en los ejemplos anteriores, se han empleado los **años teóricos** 1990 y 1980); o, con el cddigo "MX", **indica** el **archivo** de Matriz de Cambio.

El resultado de la **aplicación del** procedimiento **estándar** descrito antes y, en detalle en el Anexo III, es la Matriz de Cambio, solamente **para las principales diez clases**.

Con **respecto** a la confiabilidad de la **interpretación** de **cada clase para cada** imagen dada en la **descripción** de la unidad de muestreo -formulario de identificación (ID)-, **también** se puede **producir** una **Matriz** de Cambio de todas las **clases** adicionales “confiables”. En vista de **su** variabilidad, este nivel de procesamiento **será** realizado en la Sede **del** Proyecto en una **etapa** posterior, cuando se **hayan** completado todas las unidades de muestreo de una sub-region.

**Figura 3. Diagrama del sistema de compilación**



(\*) Los nombres de archivos se refieren al ejemplo presentado en Anexo III.

## DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE MUESTREO • FORMULARIO DE EVALUACION DE CALIDAD DE IMAGEN

NOMBRE DEL INTERPRETADOR \_\_\_\_\_

CALIDAD DE IMAGEN

DATOS RECIENTES SENSOR: FILA/HILERA: FECHA: VISIBILIDAD: CONTRASTE:

OTROS:

DATOS ANTIGUOS SENSOR FILA/HILERA: FECHA: VISIBILIDAD: CONTRASTE:

OTROS:

SENSOR: FILA/HILERA: FECHA: VISIBILIDAD: CONTRASTE:

OTROS:

| CLASES PRINCIPALES<br>Clases Adicionales  | Codigo de clasificación |                 | Evaluación de Interpretabilidad de Clases<br>(referencia a la imagen reciente) |                            |                                |       |
|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------|
|                                           | Clases Princip.         | Clases Adicion. | Interpretabilidad (1)                                                          | Verificación necesaria (2) | Tipo de verificación efectuada |       |
|                                           |                         |                 |                                                                                |                            | Por tierra                     | Aerea |
| OTRAS CUBIERTAS DE LA TIERRA              | 0                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Áreas de <b>nieve, áreas rocosas</b>      |                         | 77              |                                                                                |                            |                                |       |
| AGUA                                      |                         |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| COBERTURA DE VEGETACION LEÑOSA ARTIFICIAL | 2                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Plantaciones forestales                   |                         | 22              |                                                                                |                            |                                |       |
| Plantaciones agrícolas                    |                         | 23              |                                                                                |                            |                                |       |
| ARBUSTOS                                  | 3                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Arbustos <b>rales</b> (C. de copa 10-40%) |                         | 33              |                                                                                |                            |                                |       |
| Arbustos <b>densos</b> (C. de copa >40%)  |                         | 34              |                                                                                |                            |                                |       |
| BOSQUEFRAGMENTADO                         | 4                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Fracción de bosque 10-40%                 |                         | 44              |                                                                                |                            |                                |       |
| Fracción de bosque 40-70%                 |                         | 45              |                                                                                |                            |                                |       |
| BOSQUE ABIERTO (C. de bosque 10-40%)      | 5                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| BOSQUE DENS0 (C. de copa >40%)            | 6                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Bosque <b>denso</b> (C. de copa 40-70%)   |                         | 66              |                                                                                |                            |                                |       |
| Bosque <b>denso</b> (C. de cope >70%)     |                         | 67              |                                                                                |                            |                                |       |
| IMPACTO AGRICOLA • BARBECHO CORTO         | 7                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| IMPACTO AGRICOLA • BARBECHO LARGO         | 8                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| OTROS, SIN INTERPRETACION                 | 9                       |                 |                                                                                |                            |                                |       |
| Nubes, sombras de nubes                   |                         | 97              |                                                                                |                            |                                |       |
| Sombras de montaña                        |                         | 98              |                                                                                |                            |                                |       |
| Fuera del área de estudio                 |                         | 99              |                                                                                |                            |                                |       |

(1) Buena; Regular; Mala; **n.a.** (clase que no existe en la imagen). Adjuntar comentarios si necesario.

(2) Se indica, con "SI" o "NO" si una clase requiere verificación de campo.

## CLASIFICACION DE LA CUBIERTA DE VEGETACION LEÑOSA

### Introducción

El objetivo de **diseñar** la presente clasificación **consiste** en proporcionar un sistema que **permita** separar todos **los** tipos de cubiertas de **vegetación leñosa** que se encontraran en **los** datos de **satélite** de alta **resolución (DSAR)** de **los** trópicos, en las clases de **interés para** el Proyecto de **Evaluación** de Recursos Forestales 1990. Es **poco** probable que dicho objetivo pueda satisfacerse en su integridad con esta **primera** versión. Lo importante **será que ésta** sea lo suficientemente **consistente**, para incluir todos **los** cambios que se puedan requerir como resultado de la **retroalimentación** y modificaciones a obtenerse en el **curso** de su **aplicación** en **los tres continentes**.

La clasificación tiene tres características **principales**:

- Una estructura **jerárquica** que **permita** la **agregación**, sin **ambigüedades**, de las clases de **cada** nivel al **próximo** o siguientes.
- Una dicotomía simple en **cada** nivel, basada en un **criterio** normalmente detectable en **DSAR** o **fácilmente** inferible, **para** simplificar la decisión del interpretador a ese nivel, y si pudiera ser posible, **para** avanzar al nivel inferior **próximo** (más detallado).
- La **inclusión** de todas las clases de interés, **para** evaluar la **situación** actual y el cambio de la cubierta forestal, en una forma **accesible para los DSAR**.

El sistema de clasificación **diseñado** (mostrado en la Tabla 2, **página siguiente**) consta de cuatro **niveles principales**.

Las **primeras** tres secciones se cubren progresivamente durante la interpretación de las **imágenes de satélite** de 1990 y 1980, mientras que la cuarta se refiere a la compilación de la plantilla de datos auxiliares.

### Niveles de clasificación

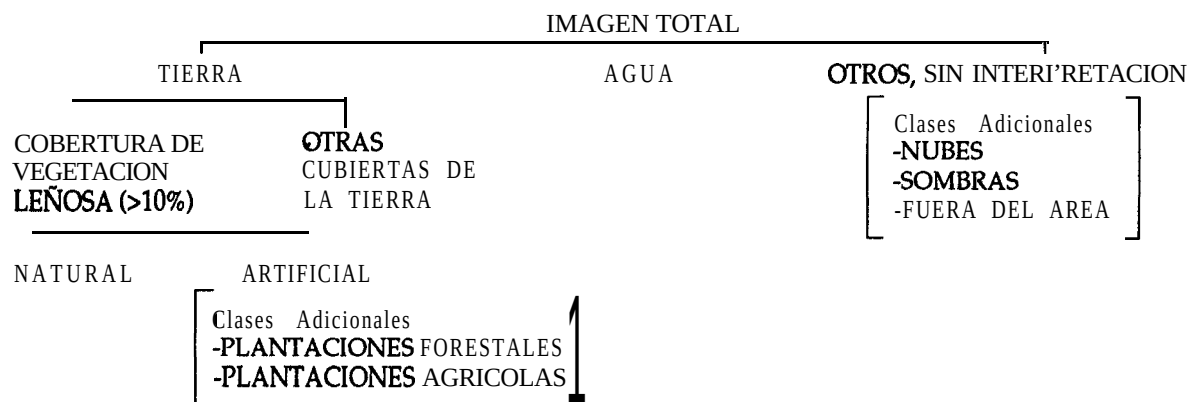
La clasificación se divide en dos niveles a fin de **asegurar un mínimo** nivel de correspondencia global y **para** concentrar el trabajo de monitoreo a un nivel de clasificación **más** simple y por consiguiente **más confiable**. Esto quiere **decir** que, **para los** objetivos de monitoreo global, no **está** permitido el agrupamiento de las Clases **Principales** durante **interpretación y análisis**.

Estos dos niveles se representan por las Clases **Principales** y Adicionales. Las Clases **Principales** (10 en total) identifican el nivel **mínimo estándar** para la **documentación** de resultados a niveles sub-regional, regional y global. Los matrices de cambio se **producen únicamente para** las Clases **Principales como producto estándar**.

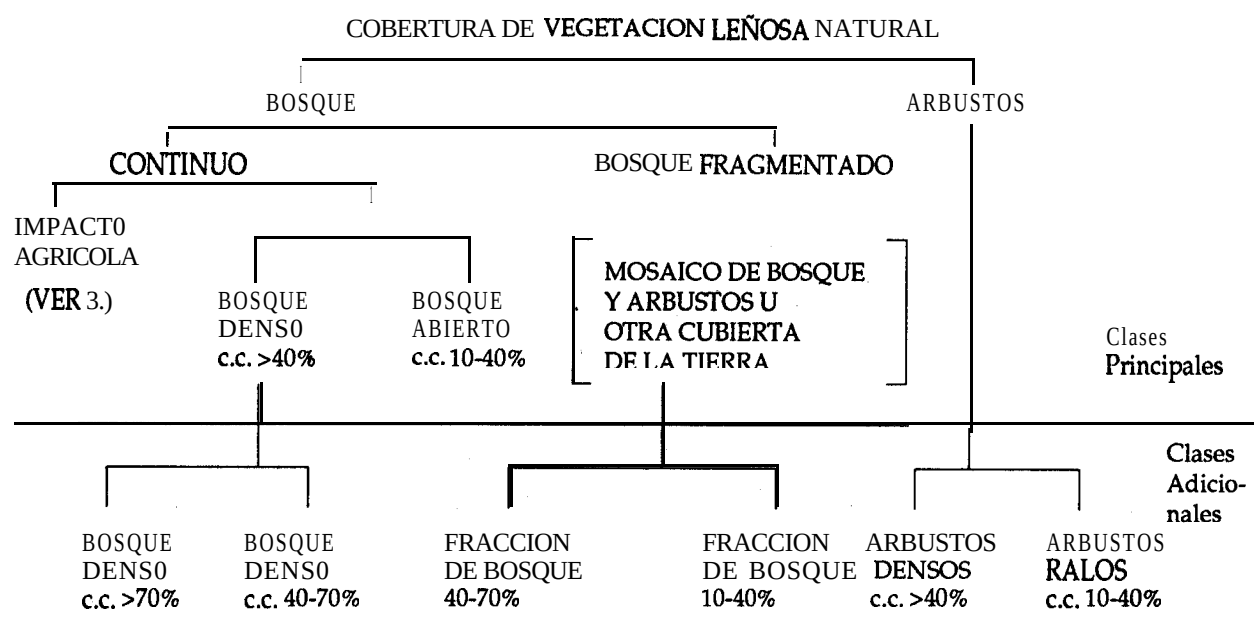
Las Clases Adicionales representan una sub-division ulterior de las Clases **Principales**. Estas Clases Adicionales se **usarán** solamente cuando se considera su delimitación **confiable**.

Tabla 2. Esquema de **clasificación para la interpretación**

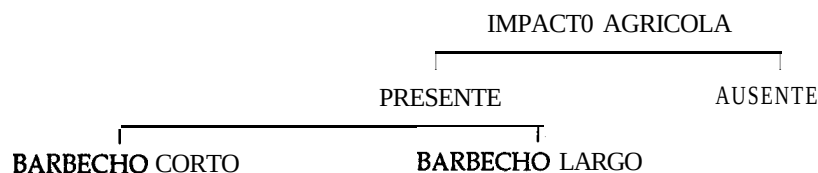
1. Clases de Interpretación Preliminar



2. Clasificación de la Cobertura de Vegetación Leñosa Natural



3. Impacto Agrícola en Bosque Natural Continuo



**NOTA:** Las **clases** bajo **Impacto Agrícola** pertenecen al nivel principal de la **clasificación**

4. Datos auxiliares

En la tercera plantilla se delinearán las siguientes unidades: (i) Zona eco-florística (Estrato); (ii) **Sub-división** administrativa; (iii) Manglares.

## SECCION 1. CLASES DE INTERPRETACION PRELIMINAR DE IMAGENES

La imagen **está** dividida en tres clases **principales**:

- AGUA
- TIERRA
- OTROS, SIN INTERPRETACIÓN

AGUA - incluye mar y cuerpos de **agua mayores** en el area de **interpretación**. Los cuerpos de **agua menores** y rios se incluyen en conjunto en la clase “otras cubiertas de la tierra”.

TIERRA - incluye **el** resto de la imagen. Esta clase se divide posteriormente de acuerdo con la presencia o ausencia de una COBERTURA DE VEGETACION **LEÑOSA** (significativa). El 10 por ciento de cobertura de **copa** se **usa** aqui **como** limite inferior. La superficie de tierra **restante** se **ubica** en la clase OTRAS CUBIERTAS DE LA TIERRA.

OTROS, SIN INTERPRETACION - incluye nubes, neblina **densa**, sombra y porciones de la imagen fuera **del área** de estudio (partes de imagen que **caen** fuera de la region o sub-region de **interés**). Bajo la clase principal se encuentran tres clases adicionales: NUBES - SOMBRAS DE NUBES, SOMBRAS DE **MONTAÑA** y FUERA DEL AREA DE ESTUDIO.

La **clase** COBERTURA DE VEGETACION **LEÑOSA** se divide **después** por su origen en NATURAL y ARTIFICIAL. Tal sub-division, basada en características **queson** en parte **fisiognómicas** y en parte contextuales, **está** dictada por la necesidad de separar, en la medida de lo posible, estas dos **categorías** amplias **para** fines de estudios de monitoreo y **análisis** separados. Su **separación** **resultará** dudosa y aproximada en algunos **casos**, especialmente cuando plantaciones de baja calidad se encuentren mezcladas con **vegetación** natural y **exista poca información** de base disponible. **Para los** objetivos **del** presente estudio, se juzga importante en todos **los casos** efectuar dicho **intento** de **separación**.

La clase COBERTURA DE VEGETACION **LEÑOSA** ARTIFICIAL incluye un amplio **rango** de tipos de **vegetación** y **usos** de la tierra. **Para el propósito** **del** presente estudio es importante **hacer** la **distinción** entre plantaciones forestales y plantaciones agrícolas.

Las PLANTACIONES FORESTALES **se delimitarán** dentro de la clase Cobertura de **Vegetación Leñosa** Artificial **como** visibles en los DSAR y con el apoyo de datos auxiliares. El area de **plantación** se requiere **como** ingreso estadístico general sin la necesidad de descripciones detalladas **como** composicdn de **especies** y **edad**, entre otros.

Las parte **restante** de la clase Cobertura de **Vegetación Leñosa** Artificial **después** de la **separación** de las plantaciones forestales **estará** conformada por PLANTACIONES AGRICOLAS y **fincas**. **Incluirá**, sin mayor **separación**, formaciones **como** cultivos de **té**, **palma** de aceite, **coco**, **caucho**, plantaciones, entre otros y **fincas** con presencia de **árboles** y arbustos.

**Puesto** que la distinción entre plantaciones forestales y plantaciones agrícolas generalmente es difícil de **hacer**, basado solamente en la signatura **espectral** o la textura de cobertura forestal, es necesario aplicar una **interpretación como** un fuerte apoyo de informacdn auxiliar, por ejemplo **mapas** de plantaciones o uso de la tierra si **están** disponibles.

La clasificación de la COBERTURA DE VEGETACION LEÑOSA NATURAL se describe en la Sección 2.

## SECCION 2. CLASIFICACION DE LA COBERTURA DE VEGETACION LEÑOSA NATURAL

La palabra “cobertura” se **usa** deliberadamente **para** evitar confusión con tipos o formaciones de **vegetación** que tengan connotaciones **florísticas**. Esto es porque **tratándose** de una **evaluación** global no son de **primera** importancia; el **interés** es **menor** con el **manejo** local que con estimados de la cobertura forestal global y sus **dinámicas**, de biomasa por **modelación** global y de consecuencias **para** la diversidad **biológica**, entre otros. Es **igualmente** importante el **hecho** que **para** una evaluación basada en datos de **satélite** con, en esta **etapa**, un alcance muy **limitado para** una **estimación** rigurosa de precisión, las interpretaciones de **aspectos** florísticos fueran de baja o **desigual** confiabilidad.

Por consiguiente, la clasificación distingue tipos de cobertura de **vegetación leñosa** principalmente por características **fisiognómicas** - densidad o cobertura de **copa**, distribución **espacial** - que son los **más fáciles** de observar en Datos de **Satélite** de Alta Resolución (DSAR).

Se **usa** la altura **para** distinguir entre BOSQUES (árboles) y ARBUSTOS, constituyendo la **primera** dicotomía de la clasificación. Mientras que la necesidad de distinguir entre formaciones **arbóreas** y arbustivas es obviamente importante, en la **práctica** puede ser difícil distinguirlas en datos de **satélite**. En vez de la altura, que no es posible medir en los DSAR usados en este estudio, **signos** espectrales e información ecológica de base tienden a guiar la **distinción** entre **dichas clases**.

La dicotomía CONTINUO - BOSQUE FRAGMENTADO bajo BOSQUE se refiere a la **distribución espacial** de la **clase** BOSQUE y otras. **Cada** vez que las unidades forestales puedan ser demarcadas individualmente y por lo **tanto** separadas de las **demás clases**, **pertenecerán** a la **clase** CONTINUO.

En el **caso** que las unidades forestales **estén** fuertemente mezcladas con otros tipos de cubierta no siendo posible separarlas individualmente, la mezcla de los dos (o más) tipos de cubierta se **clasificará como** BOSQUE FRAGMENTADO y será posteriormente subdividida **según** las proporciones estimadas de tipo de bosque en la **clase**.

### Criterios cuantitativos

Los **criterios** de clasificación cuantitativos **para** interpretar **imágenes** de alta **resolución** pueden ser **sólo** indicativos dado que ni la altura ni la cobertura de **copa** pueden ser vistas o medidas directamente. Por **esta razón**, los límites han sido determinados **como** 10-40 por ciento y 40-70 por ciento, por ejemplo, antes que 10-40 por ciento y 41-70 por ciento.

El límite inferior de 10 por ciento de cobertura de **vegetación leñosa para** BOSQUE y formaciones asociadas, es el mismo **adoptado para** las evaluaciones periódicas de recursos forestales de la FAO y **conforme** con la **Clasificación Internacional de Vegetación** de UNESCO. **Excepto** en algunos **casos** especiales, es improbable que se **detecte** una densidad de **copa** de 10 por ciento en los DSAR. El límite inferior detectable **variará según** el tipo de **vegetación leñosa** y la naturaleza y condiciones de la cobertura **del suelo** asociado.

El umbral de 7 m de altura promedio de **copa** entre BOSQUE y ARBUSTOS es **también** aquel **adoptado para** las evaluaciones forestales periódicas de la FAO. En DSAR es generalmente posible

distinguir entre coberturas de **árboles** altos y de **vegetación leñosa mucho más** baja, especialmente cuando **éstos** se presentan con la misma **relación espacial** cerrada. Sin embargo, la confiabilidad de tal **distinción** es variable y **deberá** ser confirmada por otras fuentes **cada** vez que sea posible.

El valor de cobertura de **copa** de 40 por ciento **corresponde** al limite inferior **para** de la clase BOSQUE CLARO de UNESCO y otras clasificaciones con **el propósito** de distinguir el anterior de las formaciones gramíneas o arbustivas con una sinusia de Qrboles - sabana arbolada y cerrado, entre otros. En el presente estudio el mismo limite de cobertura de **copa** se **emplea para** separar bosques abiertos y densos.

La clase BOSQUE se divide en las dos **clases** de **interpretación principales**, BOSQUE ABIERTO y BOSQUE DENSO, siendo el **criterio** la cobertura de **copa**; 10-40 por ciento y 40-100 por ciento respectivamente.

El **intervalo** muy amplio de 40-100 por ciento de cobertura de **copa** de la Clase Principal BOSQUE DENSO fue posteriormente dividido, arbitrariamente, en dos Clases Adicionales: BOSQUE DENSO, Cobertura de **copa** 40-70 por ciento y BOSQUE DENSO, Cobertura de **copa** 70-100 por ciento. El limite de 70 por ciento se ha incorporado **para manejar** una amplia gama de situaciones en las cuales la division entre bosques abiertos y cerrados con un 40 por ciento de limite de cobertura de **copa** no es significativa; un bosque tropical **húmedo** con 60 por ciento de cobertura de **copa** bien puede ser una **formación alterada** y degradada, mientras que en una zona ecoflorística **más seca** la misma cobertura de **copa** puede representar una **formación** estable sin **intervención humana**.

Para BOSQUE FRAGMENTADO (mosaico de bosque y arbustos u otra cubierta de tierra) los limites se han establecido **para corresponder** a aquellos de BOSQUE ABIERTO, FRACCION DE BOSQUE 10-40 por ciento, y BOSQUE DENSO (c.c. 40-70 por ciento), FRACCION DE **BOSQUE 40-70** por ciento, **para facilitar la agregación** de **clases** de cubierta forestal. **Para** la clase ARBUSTOS el limite se **fijó** arbitrariamente en 40 por ciento (por consistencia con **los otros limites usados**) **para** proporcionar **información** adicional cuando **ésta** es extraible de **los datos de satélite**.

### SECCION 3. IMPACTO AGRICOLA

La **repercusión** de las actividades agrícolas en las áreas forestales pueden ser detectadas en DSAR por la presencia de pequeñas **parcelas** cultivadas (debajo **del** limite de **demarcación**) rodeadas por igualmente **pequeñas parcelas** de **vegetación** natural a varios niveles de regeneración y áreas de bosque maduro, **más** o menos alterado. Esta estructura **revela** generalmente la existencia de **prácticas** de **agricultura rotacional** o migratoria.

Desde un **punto** de vista estrictamente **fisionómico** tal **área** forestal mantendría todas las características de BOSQUE CONTÍNUO con una cobertura de **copa** determinada; a pesar de estar degradado, **el** bosque afectado por **agricultura rotacional** podría mantener, en algunos **casos**, la misma cobertura de **copa** que el bosque no **alterado** circundante.

Sin embargo, a pesar de **todo** lo dicho, es importante que **las** áreas de **impacto** de **agricultura rotacional** sean detectadas y monitoreadas en vista **del** importante papel que estas **prácticas** desempeñan en el proceso de **degradación** de **los** recursos naturales.

El objetivo de la interpretación en este caso es esbozar la **porción** de bosque que parece afectado por cultivo **rotacional**, como bosque con IMPACTO AGRÍCOLA. En la **práctica** significaría perfilar, como un tipo de clase de **mosaico**, las áreas bajo cultivo real (taladas) y aquellas en varios estados de **regeneración** que representan áreas cultivadas y subsecuentemente abandonadas en un pasado **más o menos reciente**.

Se ha **hecho un intento para** dividir la clase IMPACTO AGRÍCOLA en dos **subclases**, llamadas BARBECHO CORTO y BARBECHO LARGO, basado en la intensidad estimada de actividad agrícola.

La intensidad de la agricultura **rotacional** se estima generalmente a **través de una relación** entre el **período** en que se cultiva una unidad de tierra y el **período** en que **está en descanso**.

La FAO (1984) **usa** el factor  $R$  de Ruthenberg **para** clasificar la agricultura **rotacional** en África en el siguiente modo:

$$R = C \times 100 / (C + F)$$

donde:  $C$  = **período** de cultivo;  $F$  = **período** de descanso.

En el estudio, un valor de  $R$  mayor o igual a 33 **indica** el tipo BARBECHO CORTO y un valor de  $R$  **menor** de 33 señala el tipo BARBECHO LARGO.

El factor tiempo obviamente es imperceptible en un **estudio** basado en datos de **satélite**. De todos modos, un estimado similar es posible sobre la base de la **proporción espacial** y distribución de **parcelas** actualmente bajo cultivo y de aquellas en **período** de descanso. Esto debería basarse en la **suposición** que el **período** de crecimiento, independientemente de la **duración** que **éste** pudiera tener, es **constante a través del tiempo**.

Un **área** con IMPACTO AGRÍCOLA presente puede a **su vez** dividirse por estimación visual de la proporción de área de cultivo, **según**:

$$\text{Área de cultivo} \times 100 / (\text{Área de cultivo} + \text{Área en descanso})$$

La **porción para la cual** la **relación** calculada es igual o superior a 33 (**más de 1/3 del área**) se clasifica como BARBECHO CORTO, y la **porción** correspondiente a una relación **menor** de 33 (**menos de 1/3 del área**) se clasifica como BARBECHO LARGO.

#### SECCION 4. DATOS AUXILIARES

En una plantilla separada, se **añadirá** información **espacial** adicional **del** área cubierta por los DSAR.

##### 1. ZONAS ECOFLORISTICAS

La **primera información** consistirá en la **zonificación** de la imagen en estratos ecoflorísticos. Esto se **realizará** con ayuda **del Mapa** de Zonas Ecoflorísticas en **consulta** con datos **topográficos**, **climáticos** y florísticos que **cubran** el área.

Se **deberán** separar tres estratos (**si** existen):

- Zona **Seca**
- Zona **Húmeda** y Lluviosa
- Zona **Montañosa**

Esta estratificación **deberá** efectuarse de preferencia antes de iniciar la **interpretación** de tipos de cubierta, dado que **proporcionará** importante información de base sobre los tipos de **vegetación** y por lo **tanto** **facilitará** la **tarea del** interpretador. El **mapa** ecoflorista y la **documentación** se **proveerá del** proyecto **de Evaluación** de Recursos Forestales 1990.

## 2. SUBDIVISION ADMINISTRATIVA

A partir de **mapas** disponibles, los **límites** administrativos se **deberán** trasladar a la plantilla.

Se requiere **delimitación** para:

- Límites Nacionales
- Límites Subnacionales de Primer Nivel

Esta **subdivisión** administrativa es necesaria **para** relacionar los **parámetros** socio-económicos de la unidad de muestreo estudiada.

A fin de lograr una buena correspondencia entre el **área** cubierta por la unidad de muestreo y **el área** administrativa a la **cual** se **asocian** los **parámetros socio-económicos**, podría ser necesario identificar y delimitar las unidades administrativas de **menor** nivel, tales como distritos o **aún** municipios.

## 3. MANGLARES

Las formaciones **bóscas limótrofes**, ubicadas en el **litoral**, en vista de **su** característica e importancia ambiental **únicas**, **serán** delimitadas **como** una **subdivisión** del tipo de cubierta central. La confiabilidad de esta información **florística** adicional es generalmente alta, debido a las señales bien definidas que este tipo **presenta** en **imágenes** de **satélite**.

## DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE MUESTREO • FORMULARIO DE EVALUACION DE CALIDAD DE IMAGEN

NOMBRE DEL INTERPRETADOR \_\_\_\_\_

CALIDAD DE IMAGEN

DATOS RECIENTES SENSOR:

FILA/HILERA:

FECHA:

VISIBILIDAD:

CONTRASTE:

OTROS:

DATOS ANTIGUOS SENSOR:

FILA/HILERA:

FECHA:

VISIBILIDAD:

CONTRASTE:

OTROS:

SENSOR:

FILA/HILERA:

FECHA:

VISIBILIDAD:

CONTRASTE:

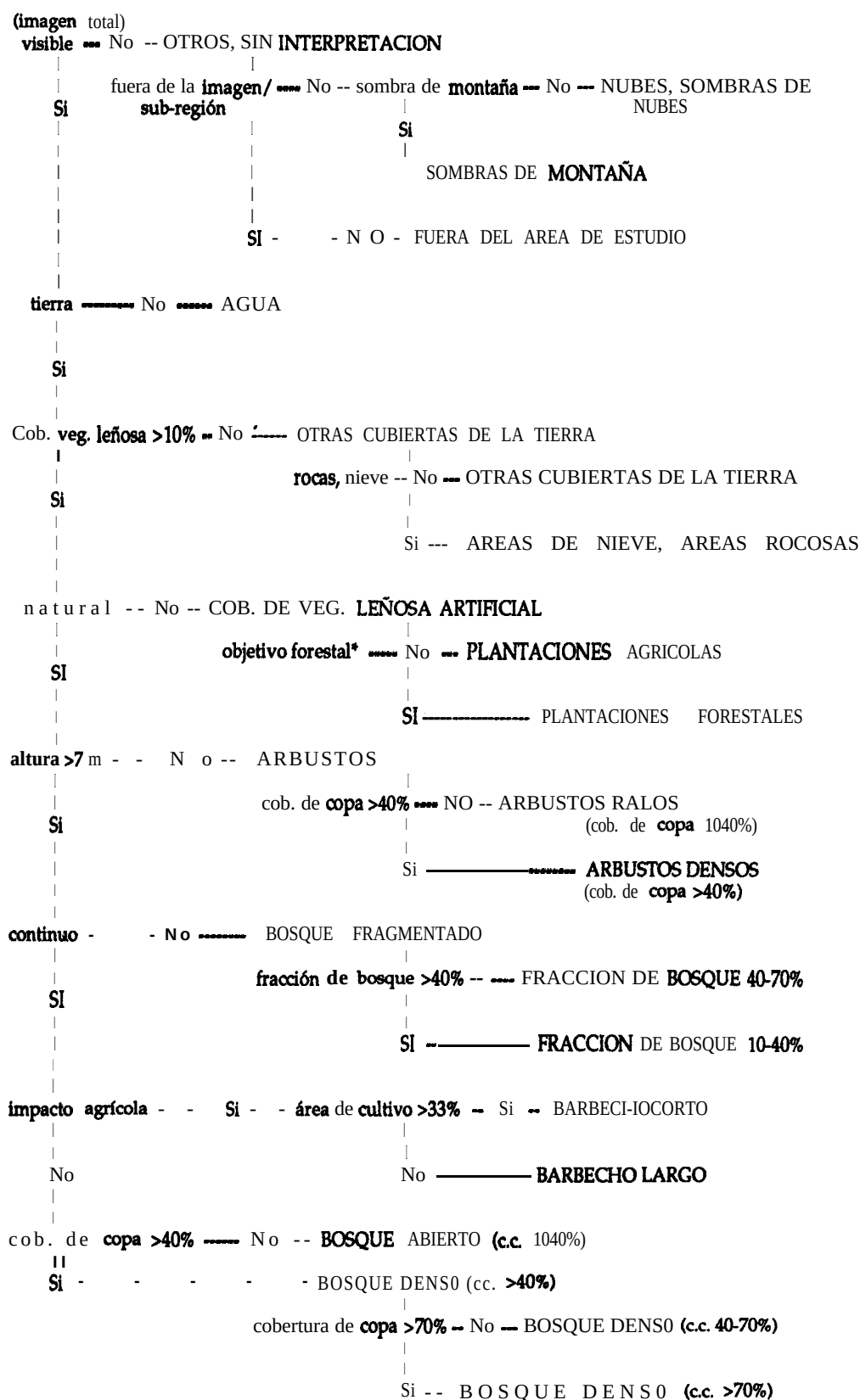
OTROS:

| CLASES PRINCIPALES<br>Clases Adicionales  | Codigo de clasificación |                 | Evaluación de Interpretabilidad de Clases<br>(referenda a la imagen reciente) |                            |                                |       |
|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------|
|                                           | Clases Princip.         | Clases Adicion. | Interpretabilidad (1)                                                         | Verificación necesaria (2) | Tipo de verificación efectuada |       |
|                                           |                         |                 |                                                                               |                            | Por tierra                     | Aerea |
| <b>OTRAS CUBIERTAS DE LA TIERRA</b>       | <b>0</b>                |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Áreas de nieve, áreas rocosas             |                         | 77              |                                                                               |                            |                                |       |
| AGUA                                      |                         |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| COBERTURA DE VEGETACION LEÑOSA ARTIFICIAL | 2                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Plantaciones forestales                   |                         | 22              |                                                                               |                            |                                |       |
| Plantaciones agrícolas                    |                         | 23              |                                                                               |                            |                                |       |
| ARBUSTOS                                  | 3                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Arbustos raros (C. de copa 10-40%)        |                         | 33              |                                                                               |                            |                                |       |
| Arbustos densos (C. de copa >40%)         |                         | 34              |                                                                               |                            |                                |       |
| BOSQUE FRAGMENTADO                        | 4                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Fracción de bosque 10-40%                 |                         | 44              |                                                                               |                            |                                |       |
| Fracción de bosque 40-70%                 |                         | 45              |                                                                               |                            |                                |       |
| BOSQUE ABIERTO (C. de bosque 10-40%)      | 5                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| BOSQUE DENS0 (C. de copa >40%)            | 6                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Bosque denso (C. de copa 40-70%)          |                         | 66              |                                                                               |                            |                                |       |
| Bosque denso (C. de copa >70%)            |                         | 67              |                                                                               |                            |                                |       |
| IMPACTO AGRICOLA • BARBECHO CORTO         | 7                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| IMPACTO AGRICOLA • BARBECHO LARGO         | 8                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| OTROS, SIN INTERPRETACION                 | 9                       |                 |                                                                               |                            |                                |       |
| Nubes, sombras de nubes                   |                         | 97              |                                                                               |                            |                                |       |
| Sombras de montaña                        |                         | 98              |                                                                               |                            |                                |       |
| Fuera del tea de estudio                  |                         | 99              |                                                                               |                            |                                |       |

(1) Buena; Regular; Mala; n.a. (clase que no existe en la imagen). Adjuntar comentarios si necesario.

(2) Se indica, con "SI" o "NO" si una clase requiere verificación de campo.

CLAVE DE INTERPRETACION



\*Distinción depende de datos auxiliares.

## EVALUACION DE PROCEDIMIENTOS DE INTERPRETACION

Con el **propósito** de identificar el procedimiento **más** apropiado de **interpretación**, en una **región** de Zaire se han probado tres **métodos** diferentes y comparado **los** resultados (ver Informe de Proyecto: **"Interpretación** de datos de **satélite** de alta **resolución** y **compilación** de resultados **para** evaluar la **situación** actual y el cambio de la cubierta forestal, **escenario** de prueba: Zaire).

Se asume que la **interpretación** de la imagen de 1990 ya se **finalizó**. A **continuación** se **describen** brevemente **los tres** procedimientos ensayados **para** la **estimación del** cambio:

### *Procedimiento 1. "Detección del cambio"*

Interpretar **sólo los** cambios, sobreponiendo la plantilla de **interpretación** 1990 a la imagen de 1980 y marcando a **continuación únicamente** las áreas que han cambiado de una **clase** a otra. Este **método** produce una plantilla donde **sólo** se **señalan los** cambios.

### *Procedimiento 2. "Interpretación de la imagen de 1980 por comparaciones parciales"*

Realizar una **interpretación** separada de la escena de 1980 con **sólo** comparaciones parciales de la imagen de 1990 interpretada previamente. Este procedimiento produce una **interpretación completa** e independiente de **los** datos de 1980.

### *Procedimiento 3. "Interpretación integral de la imagen de 1980 sobrepuesta a la delimitación de 1990"*

Este **método** representa una **combinación** de **los dos** sistemas anteriores. La **interpretación** de la imagen de 1980 se **efectúa** completamente (sobre el Area **Común**) con continua referencia a la **interpretación** de 1990 mientras se la sobrepone a la imagen de 1980. Este procedimiento ofrece una **interpretación completa** de la imagen de 1980, con las **clases** que han cambiado y con las que han permanecido invariables.

Los resultados de este estudio **señalan** con claridad que el Procedimiento 3 es **el más** apropiado **para lograr** una **estimación completa** y **consistente** de **los** cambios de cubierta forestal. Por consiguiente, se recomienda seguir el Procedimiento 3, **según** lo evaluado arriba.

Comparado con el Procedimiento 1, el **método** 3 muestra mayor sensibilidad **pax-a** la **detección** de cambios. El Procedimiento 1 **los** identifica mediante un **proceso** de **exploración** visual el **cual** es propenso a percibir **sólo** cambios de mayor magnitud, lo que puede conducir, especialmente en **imágenes** con un **patrón** altamente fragmentado, a una **subestimación sistemática** de **los** cambios. La mayor sensibilidad **del método** 3 se debe al **hecho** que, delineando completamente la imagen de 1980 con la plantilla de 1990 sobrepuesta, **el** interpretador **está** forzado a **confirmar** o cambiar todas las **líneas** de la **interpretación** previa, **reduciéndose el** riesgo de omitir cambios **menores** que en un **proceso** de **exploración** si se **podría** dar.

Si la **interpretación** anterior "trastorna" la nueva **delimitación**, se puede retirar la plantilla de 1990, llevar a **cabo** libremente la nueva **interpretación** y, posteriormente, sobreponerla **pax-a** verificar posibles **inconsistencias**.

El **Método** 2, con **sólo información** de base o **relación parcial** con la **interpretación** anterior, es propenso a **introducir** cambios aparentes debido a la **delimitación** subjetiva de **los** bordes invariables. El riesgo de cambios ficticios por la **delimitación** subjetiva es inversamente

**proporcional** al **contraste** de **tono** entre clases adyacentes. Los **límites** entre clases de bosques de densidad variada o entre bosque y cultivo **rotacional**, entre otros, son generalmente de **gran** subjetividad y por lo **tanto** sus cambios estimados **según** el Procedimiento 2 **serán** de muy **poca** confiabilidad. El **Método** 3 reduce al **mínimo** el riesgo de cambios aparentes, ya que la nueva **delimitación** es cambiada **sólo** si **está** claramente justificada por las diferencias entre **las** dos imágenes.

La subjetividad al delimitar clases por interpretación visual es inevitable. El **Método** 3 brinda la posibilidad de eliminar **el** efecto que la subjetividad de la segunda **interpretación** **podría** **introducir** en la **estimación** de **los** cambios.

La **interpretación** “sobrepuesta”, combinada, de las dos **imágenes** tiene **además** un efecto positivo en la **precisión** global de la **delimitación** de clases. **Además** de la **detección** de cambios, el Procedimiento 3 **permite** al interpretador usar una segunda plantilla de **información** sobre el Área **Común** que puede ayudar a mejorar la **interpretación** realizada sobre la **primera** imagen. Es probable que mientras analiza la segunda imagen, el analista sienta la necesidad de regresar a la plantilla anterior (e imagen) **para** efectuar algunos cambios en las clases de **delimitación** incierta.

Este **proceso** de “**maduración**” es posible **sólo** si las dos interpretaciones se realizan con **constante** y mutua referencia.

## PROCEDIMIENTO DETALLADO DE COMPILACION DE DATOS USANDO PROGRAMA LOTUS 123

La descripción se refiere a la versión inglesa **del programa** LOTUS 1-2-3, versión 2.0.

### **Descripción de Archives-LOTUS**

Los **archivos estándar sólo-lectura** empleados son:

#### **GRID.wkl**

Este **archivo** corresponde a la retícula de puntos. Contiene 100 filas y 100 **columnas** con una identificación **única** de **números**.

Las celdas de la esquina superior izquierda se ingresarán, **para cada imagen**, con los detalles apropiados:

"NOMBRE DE ARCHIVO", "FILAS", "HILERAS".

El **rango** de datos (C3..CX102) se llena con "0" que corresponde a la **clase** "otras cubiertas de tierra". Esto simplifica el ingreso de datos dado que **las** áreas de la imagen codificadas como "0" no **necesitarán** una entrada. El valor "0" puede ser ocultado usando el **comando**: "/Worksheet Global Zero Yes (suprimir la **presentación** de ceros)".

El **rango** A104..AB127 contiene una breve **descripción** de los **códigos** de clasificación. En **las columnas** A107..A125 se **indican** todos los **códigos** para los **cálculos** de las Clases de Interpretación **después** de la entrada, incluyendo el **número** de puntos (celdas) **para cada código**.

El **rango** AQ104..AQ134 contiene la MACRO \A con la **lista** de **comandos** requeridos **para convertir** todos los **códigos** de **clases** complementarias en su **código** de Clase Principal Matriz.

El **rango** BY104..BY125 contiene la MACRO \B con la **lista** de **comandos** necesarios **para crear** un **archivo** de Matriz de Cambios. La MACRO \B **combina** dos **archivos**, **importa** el MX\_BLOCK.wkl en la hoja extendida y **calcula** la Matriz de Cambios.

**IMPORTANTE** Los dos rangos macro no tienen nombre en el **archivo** original GRID. Esto significa que los macros **operarán** solo **después** de designados con el comando "/Range Name Create (\A o \B; rango AQ104..AQ104 6 BY104..BY104)". Se **hace así** para evitar que el macro pueda ser llamado inadvertidamente en un **momento** equivocado, con el riesgo de cambios no controlados en el **archivo**.

En el Anexo IV se muestra una copia impresa típica **del archivo** GRID.wkl.

Los **comandos** MACRO \A y MACRO \B se muestran en el Anexo V.

## MX\_BLOCK.wkl

El MACRO \B, cuando sea **llamado, importará** el **archivo MX\_BLOCK** a la hoja extendida (**rango A104.....**) **para** calcular la Matriz de Cambios.

Este **archivo (MX\_BLOCK)** contiene **los códigos** correspondientes a todos **los** posibles cambios de **códigos** de Clases **Principales** y las funciones necesarias **para** calcular **su** frecuencia en la **hoja** extendida (**después** de que **los archivos** han sido combinados).

Contiene **también** las funciones requeridas **para producir** las Matrices de Cambios por **número** de puntos y por hectareas y las tasas estimadas de cambios **para cada clase**.

En **el** Anexo VI se muestra una copia impresa típica **del archivo MX\_BLOCK.wkl**.

### ***Descripción Detallada del Procedimiento de Compilación***

Los nombres de **archivos** que **servirán** de ejemplo en la siguiente **descripción** se refieren a la muestra dos de la sub-region Brasil, localizada en el Estado de Rondonia.

|                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| <b>Código</b> de sub-region | : 35                          |
| <b>Código</b> de muestra    | : 02                          |
| Imagen reciente             | : TM 230/69 fecha 03/03/1987  |
| Imagen anterior             | : MSS 247/69 fecha 01/08/1980 |

#### **Paso 1: Posicionamiento de la reticula de puntos sobre la imagen más reciente**

La esquina inferior izquierda de la reticula debe coincidir con la esquina inferior izquierda de la imagen; **el** lado inferior de la reticula debe coincidir con el lado inferior de la imagen.

Llamar el **programa** LOTUS 123.

Recuperar **el archivo** GRID.wkl (la extension "**wkl**" **común** a todas las hojas extendidas LOTUS, **serán** omitidas en **los** siguientes nombres de **archivos**).

Ingresar detalles de "NOMBRE DE ARCHIVO" (3502F087), "PATH", "ROW" en la esquina superior izquierda **del archivo**.

Grabar el **archivo** con la **denominación** 3502F087

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Sub-region                | : 35 |
| Muestra                   | : 02 |
| Imagen <b>completa</b>    | : F  |
| <b>Códigos</b> originales | : o  |
| <b>Año</b> 1987           | : 87 |

Ingresar **los códigos** de **interpretación** como se muestran en la plantilla de interpretacibn. Todos **los códigos** se ingresan en su forma original, **tanto para** las Clases

**Principales** (0 al 9) **como para** las clases complementarias (22, 23, 33, 34, 44, 45, 66, 67 y otros).

A partir de ahora, se aconseja grabar el **archivo** de vez en cuando con el mismo nombre.

Cuando se concluya el ingreso de la imagen **completa**, emplear “/Data Distribution command (**Rango** de datos **c3..cx102**; **rango** de **códigos a107..a125**)” **para contar** las frecuencias de **códigos** de clases; el resultado del cálculo **aparecerá** en la **primera columna** a la derecha (**b107..b125**).

Grabar el **archivo**: 3502F087

### **Paso 2: Uso del archivo completado en el Paso 1 (3502F087)**

Asignar el **código** 99 a todos **los** puntos fuera **del** Area **Común** (area cubierta por las **imágenes** de 1990 y 1980).

Cambiar el nombre **del archivo** en la celula superior izquierda. Grabar el **archivo** con un Nuevo Nombre: 3502C087.

### **Paso 3: Posicionamiento de la reticula de puntos sobre la plantilla de interpretación de la imagen anterior**

Asegurarse de que la reticula de puntos tenga exactamente la misma **posición** sobre el Area **Común** **como** en el Paso 2. Esto se puede realizar **fácilmente** manteniendo la reticula fija sobre la plantilla de **interpretación** de la imagen de 1990, insertando la plantilla de 1980 entre ellas (debajo de la reticula y encima de la plantilla de 1990) y **haciendo** que las dos plantillas coincidan exactamente.

Usar **el archivo** completado en Paso 2 (3502C087).

Cambiar **los** detalles de la parte superior izquierda (“NOMBRE DE ARCHIVO” [3502C080], “FILA”, “HILERA”) a **los** **del** imagen de 1980 y grabar con el nuevo nombre: 3502C080.

Registrar todos **los** cambios **según** la **interpretación** de esta imagen.

Cambiar el nombre en la celula superior izquierda.

Grabar el **archivo** (3502C080).

### **Paso 4: Usar archivo desarrollado en Paso 3.**

Posicionar el cursor en la **primera** celula **del** macro (AQ104) y nombrar el macro con el comando “/Range Name Create (nombre: \A; **rango** AQ104).

Activar el macro presionando [alt + a] (presionar tecla “a” y al mismo tiempo presionar tecla “alt”).

El macro **cambiará** todas las **clases** adicionales a sus Clases Principales correspondientes.

|               |    |                  |   |
|---------------|----|------------------|---|
| <b>código</b> | 22 | <b>diventará</b> | 2 |
| "             | 23 | "                | 2 |
| "             | 33 | "                | 3 |
| "             | 34 | "                | 3 |
| "             | 44 | "                | 4 |
| "             | 45 | "                | 4 |
| "             | 66 | "                | 6 |
| "             | 67 | "                | 6 |
| "             | 77 | "                | 0 |
| "             | 97 | "                | 9 |
| "             | 98 | "                | 9 |
| "             | 99 | "                | 9 |

Grabar el **archivo** con un nombre nuevo: **5302CM80**.

**Paso 5: Recuperar el archivo desarrollado en Paso 2 (3502C087) y repetir el procedimiento del Paso 4**

- Posicionar el cursor en la **primera célula del** macro (AQ104).
- Nombrar el macro '\A'.
- **Archivos** [alt + a].
- Cambiar el nombre de **archivo** en la **célula** superior izquierda.
- Grabar el **archivo** con un nombre nuevo: **3502CM87**.

A estas alturas, **los archivos creados** en el Pasos 4 (**3502CM80**) y Paso 5 (**3502CM87**) contienen **sólo los** cddigos 0 a 9 (**Códigos** de Clases Principales); ambos **archivos** tienen la misma estructura y **tamaño**.

**Paso 6: Recuperar el archivo creado en el Paso 4 (3502CM80)**

Colocar el cursor en la **primera** celda de la **columna** macro (BY104) y designar el macro con el comando "/Range Name Create (nombre \b; rango BY104)". Pedir el macro presionando [alt + b].

El macro **multiplicará** todos los cddigos por 100 y se **detendrá** para mostrar la **lista de archivos** en el directorio de trabajo, **para** permitir al usuario seleccionar el **archivo** que desea **combinar** (**archivo 3502CM87** en nuestro **caso**; elegir tal **archivo** y presionar ENTER), y **combinará** los archivos. El macro **continuará** importando el **archivo** MX BLOCK y **calculará** la **distribución** de **códigos** de cambio y **creará** las matrices de cambio por **número** de puntos (**celdas**) y por hectareas.

Cambiar el nombre **del archivo** en la celda superior izquierda.

Ingresar **los** detalles necesarios (Nombre **del archivo** de la **matriz**; **Filas**; **Hileras**; **Fechas**; **Años** entre **imágenes**).

La **estimación** de la tasa de cambio anual **dependerá del número** de "**años** entre **imágenes**" ingresados en la **posición** T108.

Grabar el **archivo** con Nombre Nuevo: 3502CMMX.

# Extracto del archivo MX\_BLOCK.WK!

Archivo de matriz de la área comdn de imlgenes:  
Nombre de archivo de matriz:

RECIENTE

Fila:

Hilera:

Fecha:

Distribución  
de datos

ANTIGUA

Fila:

Hilera:

Fecha:

Combinaciones posibles

AÑOS ENTRE IMAGENES:

| -9 | Clases de imagen RECIENTE |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| -8 | Imagen ANTIGUA *100       | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| -7 | 0                         | 0   | -1  | 98  | -3  | -4  | 95  | -6  | 93  | -8  | -9  |
| -6 | 1                         | 100 | 100 | 99  | 198 | 197 | 196 | 195 | 194 | 193 | 192 |
| -5 | 2                         | 200 | 200 | 199 | 298 | 297 | 296 | 295 | 294 | 293 | 292 |
| -4 | 3                         | 300 | 300 | 299 | 398 | 397 | 396 | 395 | 394 | 393 | 392 |
| -3 | 4                         | 400 | 400 | 399 | 498 | 497 | 496 | 495 | 494 | 493 | 492 |
| -2 | 5                         | 500 | 500 | 499 | 598 | 597 | 596 | 595 | 594 | 593 | 592 |
| -1 | 6                         | 600 | 600 | 599 | 698 | 697 | 696 | 695 | 694 | 693 | 692 |
| 0  | 7                         | 700 | 700 | 699 | 798 | 797 | 796 | 795 | 794 | 793 | 792 |
| 91 | 8                         | 800 | 800 | 799 | 898 | 897 | 896 | 895 | 894 | 893 | 892 |
| 93 | 9                         | 900 | 900 | 899 | 898 | 897 | 896 | 895 | 894 | 893 | 892 |
| 94 |                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

| 95  | 1             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|-----|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 99  | 1             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 1             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 191 | 2             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 102 | 3             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 193 | 4             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 194 | 5             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 195 | 6             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 196 | 7             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 197 | 8             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 198 | 9             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 199 |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 200 | tot. RECIENTE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 291 |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

| 292 | MATRIZ DE CAMBIOS (000 hectáreas) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | tot. ANTIG. |     |
|-----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|
| 293 | Clases de la imagen RECIENTE      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Sin         | tot |
| 294 | Imagen ANTIGUA                    | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | nubes       |     |
| 295 | 1                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 296 | 2                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 297 | 3                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 298 | 4                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 299 | 5                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 300 | 6                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 391 | 7                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 392 | 8                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 393 | 9                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 394 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 395 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 396 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 397 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 398 | Sin nubes                         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 399 | Total RECIENTE                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 400 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 491 | Cambio total                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0           | 0   |
| 492 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 493 | Tasa anual simple 000 ha          | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR         | ERR |
| 494 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 495 | Tasa anual simple %               | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR | ERR         | ERR |
| 496 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |
| 497 |                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |

## Descripción del MACRO /A y MACRO /B

El **sintaxis** de los macros **corresponde** a la **versión** inglesa de LOTUS 1-2-3.

| Comandos                                                                                                                                                                                | Descripción de Comandos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MACRO /A                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| (GOTO) CZ3~<br>@IF (C3"77,0,C3)~<br>/CCZ3~CZ3.EW102~<br>{GOTO} CZ3~<br>/RVCZ3.EW102~CZ3~                                                                                                | VAACZ3<br>CAMBIAR CODIGO '77' A "0"<br>COPIAR LA FUNCION SOBRE 50 <b>COLUMNAS CZ3.EW102</b><br>VAACZ3<br>TRANSFORMAR FORMULAS EN VALORES <b>CZ3.EW102 Y</b><br>SOBREESCRIBIR<br>...REPETIR LA MISMA OPERACION <b>PARA COLUMNAS 51 A 100</b>                                                                                                                                                                                     |
| {GOTO} EX3~<br>@IF (BA3"77,0,BA3)~<br>/CEX3~EX3.GU102~<br>{GOTO} EX3~<br>/RVEX3.GU102~EX3~<br>{GOTO} C3~<br>@IF (CZ3>9, CZ3/10,CZ3)~<br>/CC3~C3.AZ102~<br>{GOTO} C3~<br>/RVC3.AZ102~C3~ | VAAC3<br>DIVIDIR POR 10 VALORES SOBRE 9<br>COPIAR FUNCION SOBRE LAS 50 <b>PRIMERAS COLUMNAS</b><br><br>TRANSFORMAR FORMULA EN VALORES <b>PARA LAS 50 PRIMERAS</b><br><b>COLUMNAS</b><br>BORRAR RANGO <b>CZ3.EW102 PARA</b> REDUCIR NECESIDAD DE<br>MEMORIA<br>...REPETIR LA MISMA OPERACION <b>PARA COLUMNAS 51 A 100</b>                                                                                                       |
| /RECZ3.EW102~<br><br>{GOTO} BA3~<br>@IF (EX3>9, EX3/10,EX3)~<br>/CBA3~BA3.CX102~<br>{GOTO} BA3~<br>/RVBA3.CX102~BA3~<br>/REEX3.GU102~                                                   | <br><br>BORRAR RANGO <b>EX3.GU102 PARA</b> REDUCIR LA NECESIDAD DE<br>MEMORIA<br><br>TRANSFORMAR TOWS LOS VALORES EN SU <b>INTEGRO PARA</b><br><b>COLUMNAS 1 A 50</b><br>"<br>TRANSFORMAR FORMULAS EN VALORES <b>PARA LAS 50 PRIMERAS</b><br><b>COLUMNAS</b><br>...REPETIR LA MISMA OPERACION <b>PARA COLUMNAS 51 A 100</b>                                                                                                     |
| {GOTO} CZ3~<br>@INT (C3)~<br><br>/CCZ3~CZ3.EW102~<br>/RVCZ3.EW102~CZ3~<br>(GOTO) EX3~<br>@INT(BA3)~<br>/CEX3~EX3.GU102~<br>/RVEX3.GU102~EX3~<br>/MCZ3.GU102~C3~                         | <br><br><b>COLUMNAS 1 A 50</b><br>"<br><b>TRANSFORMAR FORMULAS EN VALORES PARA LAS 50 PRIMERAS</b><br><b>COLUMNAS</b><br>...REPETIR LA MISMA OPERACION <b>PARA COLUMNAS 51 A 100</b><br><br>SOBREPONER RANGO <b>CZ3.GU102 EN RANGO C3.CX102</b><br>A ESTAS ALTURAS EL ARCHIVO A LAS MISMAS DIMENSIONES Y<br><b>ESTRUCTURA</b> DEL ARCHIVO ORIGINAL DE ENTRADA DE DATOS <b>PERO</b><br>CONTIENE SOLAMENTE CODIGOS VALORES 0 A 9. |
| MACRO /B {GOTO} CZ3~<br>(C3*100)~                                                                                                                                                       | MULTIPLICAR LOS VALORES DEL CODIGO POR 100 <b>PARA COLUMNAS</b><br><b>1 A 50</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| /CCZ3~CZ3.EW102~<br>{GOTO} CZ3~<br>/RVCZ3.EW102~CZ3~<br>{GOTO} C3~<br>/MCZ3.EW102~C3~                                                                                                   | TRANSFORMAR FORMULAS EN VALORES <b>PARA COLUMNAS 1 A 50</b><br><br>MOVER LOS VALORES NUEVOS (PRIMERAS 50 COLUMNAS) AL<br>RANGO APROPIADO <b>(C3.AZ102)</b><br><br>...REPETIR LA OPERACION <b>PARA COLUMNAS 51 A 100</b>                                                                                                                                                                                                         |
| {GOTO} EX3~<br>(BA3*100)~<br>/CFX3~FX3.GU102~<br>/RVEX3.GU102~EX3~<br>{GOTO} BA3~<br>/MEX3.GU102~BA3~<br>/WGC6~<br>{GOTO} C3~<br>/FCSNC3.CX102~(?)~                                     | <br><br><br><br>CAMBIAR LA ANCHURA DE LAS <b>COLUMNAS</b> DE 3 A 6<br><br>USUARIO A ENTRAR NOMBRE DEL ARCHIVO SEGUN INSTRUCCION<br><b>(IMAGEN</b> RECIENTE, AREA COMUN, CLASES PRINCIPALES)                                                                                                                                                                                                                                     |
| {GOTO} A104~<br>/REA104.AC130~<br>{GOTO} A104~<br>/FCCMX BLOCK.WK1~<br>/DDC3.CX102~A109.A208~<br>{GOTO} C104~                                                                           | BORRAR <b>A104.AC130</b><br><br>IMPORTAR ARCHIVO MX BLOCK<br>ANALIZAR CODIGOS DE CAMBIO Y PRODUCIR MATRIZ DE CAMBIOS<br><br>USUARIO A <b>ENTRAR</b> DETALLES DE ARCHIVO E IMAGENES                                                                                                                                                                                                                                              |

## Estructura del archivo GRID.WK1

| Nombre archivo | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24      | . . . . | 96 | 97 | 98 | 99*** |
|----------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|---------|----|----|----|-------|
| Fila hilera    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |         |         |    |    |    |       |
| 1              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 2              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 3              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 4              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 5              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 6              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 7              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 8              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 9              | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 10             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 11             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 12             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 13             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 14             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 15             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 16             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 17             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 18             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 19             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 20             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 21             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 22             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 23             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
|                | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
|                | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 96             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | :: ::   | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 97             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 98             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| 99             | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |
| ***            | 000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | . . . . | 0       | 0  | 0  | 0  | 0     |

Distribución  
de datos

### Código de Clasificación

| Punt0  | Clases Principales             | Código | Clases Adicionales            | Código |
|--------|--------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| 0 1000 | Otros, sin interpretación      | 9      | Fuera del área de estudio     | 99     |
| 1 0    |                                |        | Sombras de montaña            | 98     |
| 2 0    |                                |        | Nubes, sombras de nubes       | 97     |
| 4 0    | Agua                           | 1      |                               |        |
| 5 0    |                                |        |                               |        |
| 6 0    | Otras cubiertas de la tierra   | 0      | Áreas de nieve, áreas rocosas | 77     |
| 7 0    |                                |        |                               |        |
| 8 0    | Cob. de veg. leñosa artificial | 2      | Plantaciones forestales       | 22     |
| 9 0    |                                |        | Plantaciones agrícolas        | 23     |
| 22 0   | Arbustos                       | 3      | Arbustos ralos (c.c. 10-40%)  | 33     |
| 23 0   |                                |        | Arbustos densos (c.c. >40%)   | 34     |
| 33 0   | Bosque fragmentado             | 4      | Fracción de bosque 10-40%     | 44     |
| 34 0   |                                |        | Fracción de bosque 40-70%     | 45     |
| 44 0   | Bosque abierto                 | 5      |                               |        |
| 45 0   |                                |        |                               |        |
| 66 0   | Bosque denso                   | 6      | Bosque denso (C.c. 40-70%)    | 66     |
| 67 0   |                                |        | Bosque denso (C.c. >70%)      | 67     |
| 77 0   | Barbecho corto                 | 7      |                               |        |
| 98 0   |                                |        |                               |        |
| 99 0   | Barbecho largo                 | 8      |                               |        |
| 1000   |                                |        |                               |        |

Macro \A (posición AQ104)

Macro \B (posición BY 104)

**Nota:** El programa MACRO se documenta en Anexo V.

## INFORME DEL GRUPO I

### Resumen de los Temas Presentados

#### I. Temas Presentados:

Lunes:

A. **Cuantificación** de las áreas de **deforestación**, por C. Tucker.

B. Sistemas de **Información Geograficas**, por D. Skole.

Martes:

C. **Discusión del Año Internacional del Espacio**.

D. **Demostración de las Técnicas de Interpretación Manual de Imágenes**.

E. Proyecto de Evaluación de los Recursos Forestales, por K.D. Singh.

Miércoles:

F. **Visita** al Bosque Experimental de Luquillo.

Jueves:

G. Metodología de **Evaluación e Interpretación** con Multidatos de **Imágenes** de Satélites **para detectar** áreas con cambios de uso, por Anders Hildeman.

#### II. Resumen de los Temas Presentados:

A. Cuantificación de las áreas de **deforestación**, por C. Tucker.

1. Tema: **Discusión** sobre el desarrollo de una tecnología avanzada **para la evaluación** de **focos** de incendios forestales, por medio de datos **AVHRR del NOAA**.

2. Comentarios y sugerencias de la presentación:

a. Se sugiere se **facilite el acceso** a la **información técnica** que mejore el **manejo** de programas **para** computadoras y **equipo tecnológico**.

b. Se sugiere que se establezca una **relación común** entre los datos del NOAA y Landsat **para la obtención** de mejores resultados cuantitativos de incendios.

B. Sistemas de **Información Geograficas**, por D. Skole.

1. Tema: Se mostraron trabajos con **digitalización** de datos, como ejemplo se **utilizó** el Estado de Rondonia, Brasil.

2. Sugerencias y comentarios.

a. La **presentación** fue **eminente**mente **técnica**.

b. Se sugiere establecer **comunicación** con el autor **para** enviar copias de la presentación a los **participantes**. Esto facilitaría la **evaluación** y **comprensión** de la metodología empleada. Sería **recomendable** conocer el error estándar de los levantamientos.

C. **Discusión del Año Internacional del Espacio**.

1. Comentarios y sugerencias.

a. Se desconoce la persona o grupo que coordina este trabajo y no **está claro** su objetivo.

D. Demostración de las **Técnicas** de Interpretación Manual de **Imágenes**, Universidad de Puerto Rico, Laboratorio de Sensores Remotos.

1. Tema: Explicación de la **metodología usada** para el procesamiento digital de **imágenes** para el Estado de Rondonia, comparada con la **interpretación** visual.

2. Comentarios y sugerencias.

a. Se evidenciaron **los errores** de la **interpretación** manual, **posiblemente** producto de la **subjetividad**.

b. Se sugiere que la Universidad de Puerto Rico desarrolle un **programa** de **capacitación** para **técnicos** profesionales locales y extranjeros.

E. Proyecto de **evaluación** de los Recursos Forestales 1990, por K. D. Singh.

1. Tema: Demostración estadística y **evaluación** de los bosques tropicales a **través** de la **utilización** de **sensores** remotos.

2. Comentarios y sugerencias: La presentación del proyecto **consistió** de sistemas de evaluación forestal, tasas confiables de **deforestación**, evaluación de cambios y modelos de **diferenciación** con entregas de **modelo** de **evaluación**.

F. **Visita** al Bosque Nacional del Caribe (Bosque Experimental de la Sierra de Luquillo).

1. Charlas y Discusiones. Se visitaron varios **lugares** de la reserva, donde se **ilustró** acerca de los diferentes trabajos y **avances** sobre la **investigación** en áreas como el

**manejo** de cuencas hidrográficas, fauna (**especies** en peligro de **extinción**), **manejo** y **sucesión** de bosques secundarios, flora y **recuperación** de bosques afectados por el huracán Hugo.

2. Comentarios y sugerencias.

a. Sugiere que el Servicio Forestal de Estados Unidos, en Puerto Rico **envíe** a **los participantes** publicaciones de las **investigaciones** desarrolladas.

b. Se sugiere definir **los mecanismos** necesarios **para** posibles convenios de cooperación, **para** **técnicos** y profesionales **extranjeros** con el Servicio Forestal de los Estados Unidos en Puerto Rico.

E. Metodología de evaluación e **interpretación** con multídatos de **imágenes** de satélites **para** **detectar** áreas con **cam**bios de uso, por Anders Hilderman.

1. Tema: **Evaluación** de Metodología de Proyectos patrocinados por la FAO.

III. Comentarios y **Conclusiones**

1. Los trabajos presentados fueron de vital importancia **para** alcanzar **los** objetivos **del** congreso.

2. El tiempo programado **para** las presentaciones no **permitió** profundizar en **aspectos** **más** **detallados** de **los** temas expuestos, lo **cual** **impidió** conocer en detalle las metodologías.

3. Se sugiere **para** las **próximas** reuniones se establezca un patrón **metodológico** **único** **para** disminuir el uso excesivo de tiempo en discusiones **técnicas**. Esto requiere desde hoy, comunicación

continúa entre los participantes de modo **que permita** la evaluación **constante** de la metodología planteada en la **Guía de Evaluación**.

4. Es necesario y de vital importancia establecer una red de **información y cooperación técnica** latinoamericana que **proporcione y facilite** el intercambio de información, la **confirmación** de un **banco** de datos, **capacitación técnica**, equipamiento (**incluye** la **instalación** de centros en sensores remotos de **países** que no lo tengan), **como también** la actualización continua de **los** mismos.

#### IV. Evaluación, enfoque del proyecto y los métodos empleados para evaluar los recursos forestales tropicales del mundo. Evaluación de la metodología para recopilar la **información** existente.

1. Se sugiere que la FAO identifique una entidad **pública** responsable **para** la continuidad del trabajo en **cada país**.
2. Considerando que muchos **participantes** reciben la Guía De Evaluación por vez **primera**, y considerando que el adecuado manejo y conocimiento de ésta nos **permitiría detectar** posibles **fallas**, nos eximimos de **hacer** una **evaluación** apresurada.
3. Sugerimos que las posibles **modificaciones** y observaciones, se **hagan** lo **más** pronto posible, siendo estas remitidas a la FAO a **través** de un canal previamente establecido.
4. **Ampliar** las fuentes de **información** en **cada país** nos permitiría una evaluación **más** real de la **situación** de **los** recursos.
5. Se observa que en la **elaboración** de la Guía de **Evaluación** de Recursos Forestales solamente ha intervenido personal de la FAO, sin dar lugar a la **participación** de **técnicos** y profesionales de **los** países latinoamericanos envueltos.

## INFORME DEL GRUPO II

### Evaluación del Modelo Para Estimar Cobertura Forestal y Selección de Sitios de Muestreo

#### I. Comentarios sobre la presentación

En **términos generales** la presentación fue muy productiva por las siguientes razones:

1. **Los** puntos que se discutieron fueron **claros** y precisos.
2. Contribuyó a enriquecer los **conocimientos** y aclarar **dudas** sobre la metodología necesaria **para** estimar la cobertura forestal.
3. El material audiovisual utilizado fue adecuado a **cada aspecto** considerado.
4. Se **promovió** la **discusión** entre los participantes, **situación** que es **indicadora** de **interés común** tanto de los organizadores **como** participantes
5. La **utilización** de ejemplos fue muy efectiva, ya que reflejan en gran parte la realidad de **los** países a nivel regional y global.

#### II. Los comentarios sobre los parámetros del modelo son muy adecuados para medir los cambios en la vegetación.

1. Cobertura forestal
2. Densidad poblacional
3. Zonas ecoflorísticas

Sin embargo, sugerimos que se **consideren** otros **parámetros**, tales **como** el **aspecto** socioeconómico. Dentro **del aspecto** se debe evaluar lo siguiente:

1. nivel **educacional**

a. grado de escolaridad

b. conciencia ambiental

#### 2. **evaluación** del tipo de consumo energético

#### 3. ingreso per capita

#### 4. infraestructura

y otros **aspectos** que **inciden directamente** entre bosque y hombre.

#### III. Comentarios sobre la confiabilidad del modelo

Luego de una **pequeña discusión** y varias **discrepancias** entendemos que el **modelo** es **confiable**. Sin embargo, hay ciertas **dudas** sobre su **aplicación** general. Las **interrogantes** del grupo fueron las siguientes:

1. Podría ser aplicado a cualquier nivel.
2. De acuerdo a la mayoría puede **aplicarse** a nivel regional y global pero no **está clara** su **apelación** a nivel subregional. Esta **duda** está basada en la inseguridad sobre su precisión.
3. El grupo sugiere que la FAO presente de forma **más comprensiva** el **análisis** matemático de este **modelo** para así poder determinar si **éste** es lo suficientemente **preciso** para aplicarse a nivel **nacional**.

#### IV. Selección de sitios de muestreo

La **presentación** sobre la **selección** de los sitios de muestreo fue productiva.

## INFORME DEL GRUPO III

### Metodología de interpretación y análisis de imágenes multitemporal.

#### I. Comentarios sobre la presentación:

1. Un buen trabajo **didáctico, conciso**, bien presentado y **claro**.
2. **Estimuló** el intercambio de ideas contribuyendo a comprender la metodología utilizada.
3. La exposición y su contenido **contribuyeron** a aclarar y satisfacer las inquietudes de **los participantes**.

Comentarios acerca de los criterios para la selección de **imágenes**:

1. Consideramos la escala 250.000 de **las imágenes de satélite** adecuadas para cumplir **los** objetivos propuestos, permitiendo **además** la delimitación del área mínima de **interpretación** establecida y la interpretación visual.
2. Recomendamos el uso de **imágenes NOAA (AVHRR)** cuando no **estén** disponibles las anteriores **imágenes**. Las **imágenes NOAA (AVHRR)** **poseen** una alta **resolución** temporal; sin embargo **poseen** una baja **resolución espacial**. No recomendamos **su** uso en zonas de **transición**; tampoco en áreas donde **los** cambios en la **vegetación** no **sean** muy diferenciables.
3. Las composiciones de **colores** definidos proporcionan mayor cantidad de información **espectral** en comparación con las **imágenes** en **blanco y negro**. Esto posibilita una mejor **interpretación** visual.
4. **Para** facilitar la superposición entre **imágenes** y **mapas** e **imágenes** se

recomienda el uso de **imágenes** geofrecuenciadas.

5. Uso de datos TM contra MSS **para** el **año** 1990, ventajas y desventajas.

Las **imágenes TM** **poseen** ventajas de resolución, geometría y calidad sobre las **imágenes MSS**. Sin embargo **para** este proyecto las **imágenes MSS** **poseen** un **menor costo**. Los resultados son similares **excepto** para casos de agricultura migratoria

#### Comentarios sobre el proceso de familiarización:

1. Es un **elemento** necesario **para** la **clasificación** a realizarse, que puede darse desde **los procesos más** generales, como las comparaciones con **mapas ecoflóricos, climas, etc.**, hasta **procesos** de referencia local por parte de los **intérpretes**.
2. Viabilidad sobre el **uso** de la **clasificación** propuesta.

Es posible emplear la clasificación **para** interpretar las **imágenes** con algunas limitaciones como:

- a. Áreas abiertas, sabanas, sabanas arbóreas-arbustivas.
  - b. Áreas de **regeneración** natural.
  - c. Bosques secundarios altamente degradados.
3. Reconocemos la existencia de **limitaciones** **para** la determinación en **clases** de altura y rangos de densidad **menores**.
  4. **Para** superar esta deficiencia se requiere un nivel de referencia local o **verificación** de campo.

5. Sentido de la clasificación a nivel **nacional, reconciliación con clasificaciones nacionales.**

La clasificación es muy general **para su uso nacional.** Sin embargo, se podrían generar niveles **más** detallados **que** pudiesen contribuir al sistema universal. La clasificación propuesta podría enmarcar **los** sistemas de clasificación **nacional.**

6. Metodología de la interpretación

El **proceso metodológico** diseñado es innovador en el **campo** de la **estimación global** de la **deforestación.** Su **componente** fundamental es el **análisis** multitemporal de **imágenes de satélite** y su tratamiento a través de un SIG.

Esta metodología optimiza el uso de la tecnología, permitiendo su continua **actualización**

7. Información auxiliar adicional

Para alcanzar **los** objetivos trazados la **información** solicitada es adecuada. Sin embargo, **para** algunos **países** pudiera ser importante incluir **información** auxiliar adicional como lo es la **vegetación** predominante en un tipo de bosque o tipo predominante de bosque (**tipo de vegetación-pisiográfica**).

8. Sistema de registro y **análisis**

El sistema es considerado **práctico, rápido** y de **fácil acceso**, previendo la continua **actualización** y posibles correcciones de la **información.**

9. Estrategias de **ejecución** del muestreo.

**Para** efecto de una mayor eficiencia en el muestreo se consideran las siguientes **propuestas:**

- a. **Participación más** estrecha entre **técnicos** de la FAO y **técnicos** de los **países** envueltos en el proyecto.

- b. **Hacer** una estratificación de la **población** a nivel global, con el **propósito** de lograr **mayores** estimaciones y aumentar la eficiencia del muestreo.

- c. Mejorar el **acceso** a la **información** de **satélite** por parte de **los países** mediante mecanismos de **cooperación** intra y extra regionales. Esto redundaría en beneficio de **los** recursos forestales y su **utilización.**

10. Necesidades de **información** a nivel **nacional.**

- a. **Evaluación** de tierras **para** uso forestal.

- b. **Determinación** de biomasa con uso de sensores remotos.

- c. Ecosistemas forestales (**conocimiento** de la **degradación**).

11. Necesidades de equipo, **capacitación** y **cooperación** regional.

- a. **Procurar accesos más fáciles** a la **información de satélite**, como también a los equipos de **procesamiento.**

- b. Entrenamiento sobre SIG, **procesamiento** digital y uso integrado de recursos.

- c. Fortalecer la **cooperación técnica** regional y global sobre **aspectos técnicos** científicos, **para** fortalecer la **toma de decisiones** en el uso de **los** recursos forestales tropicales.

## II. Comentarios generales

El trabajo sobre **evaluación** forestal que viene adelantándose representa un esfuerzo importante en el uso de la tecnología **moderna**. A nivel mundial y **en comparación** con evaluaciones anteriores de la FAO, la metodología propuesta asegura un conocimiento **más** real y **preciso** sobre el estado actual de **los** recursos forestales. El monitoreo **continuo** deberá plantearse como un esfuerzo conjunto entre los países involucrados.

La metodología presentada se considera innovadora, **práctica** y bien estructurada, lo que **facilitará** su aplicación por parte de **los** países.

Se requiere que se **organice** un banco de datos forestales centralizados en FAO, **para** asegurar la continuidad de la evaluación en el **futuro**. Por consiguiente es necesario **buscar** la **asignación** de esta **función** a nivel **nacional** **para** garantizar la continuidad del programa de monitoreo.

## III. Conclusiones

En el seminario "Proyecto de **Evaluación** de **los** Recursos Forestales 1990", los temas pueden agruparse en **los** siguientes **aspectos**.

### 1. Introducción al problema

Se presentaron varias conferencias relativas al **Año Internacional del Espacio**; **los** sistemas de **información geográfica**; **uso** de los datos de **satélite** aplicados a **deforestación**; y una serie de charlas introductorias que proporcionan un mejor panorama de la problemática e **impacto** sobre **los** recursos naturales como consecuencia de la **intervención** del hombre.

### 2. Técnicas de satélite para la cuantificación de la deforestación.

Los diferentes expositores han analizado **de forma práctica los aspectos técnicos** relacionados a datos adquiridos de **los** satélites **para** la **observación** de la tierra, el procesamiento digital y su aplicación **para** la **evaluación** de **los** recursos naturales con **énfasis** en **aspectos** forestales. De igual forma con fines **prácticos** se ha presentado la aplicación de **los** sistemas de **información geográfica** al **manejo** de **gran** cantidad de información.

### 3. Presentación del proyecto

Una vez involucrados en la problemática se ha procedido a la **presentación** del proyecto, **sus** objetivos, alcances y logros realizados. De esta forma, se han presentado **los** pasos seguidos **para** la implementación de la metodología, incluyendo **los** diferentes problemas enfrentados, y **sus** diferentes alternativas de **solución**.

Los deponentes abarcaron temas relacionados a:

- a. **Evaluación** de la metodología **para** recopilar la **información** existente.
- b. **Modelo** **para** estimar cambios en la cobertura forestal y selección de sitios de muestreo.
- c. Metodología de interpretación y **análisis** de **imágenes** de fechas múltiples.

Los temas anteriores sirvieron de base **para** efectuar el **análisis** por medio de **los** diferentes grupos de trabajo.

### 4. Visitas

Las **visitas** y giras constituyeron un **aspecto** importante de **los** trabajos realizados. La Universidad de Puerto Rico y el Instituto de Dasonomía

Tropical-Servicio Forestal mostraron los trabajos científicos de **campo** y la **evaluación** de los recursos naturales por medio de **sensores** remotos. Se **observó** el **análisis** de **información de satélite** y el uso de información **bibliográfica** de estudios forestales. Se **conoció** acerca del bosque tropical de Puerto Rico y de la **información** contenida en el **banco** de datos que se encuentra **accesible** a cualquier científico estudioso y preocupado por los recursos naturales. El otro **aspecto** importante de las **visitas** lo **constituye** la **visita** al Bosque Experimental de Luquillo, ejemplo de **manejo del** laboratorio experimental de

áreas naturales y de la **preservación** de **especies** de fauna y flora en peligro de **extinción**.

#### 5. Experiencias **casos** latinoamericanos

Se **contó** con experiencias de Puerto Rico y **países** latinoamericanos **como** Brasil y México. Los deponentes hicieron referencia a trabajos realizados y futuros **análisis** respecto a **aspectos** forestales, usando **imágenes** telesensoriadas y sistemas de información **geográfica** como instrumento de apoyo al procesamiento de los mismos.

## NOTES FROM GROUP #4

Bill Lawrence  
Ray **Czaplewski**  
Robert Klaver  
**Armand** Joyce

Louis Iverson  
Jacqueline Klaver  
Jim Bones

Topic: How can FOA system keep going after March 1992?

How can interest be maintained in developing nations in which sampling intensity may be low? How can a country intensity sample for its own territory?

All countries should have access to statistical and GIS data bases, but might not have compatible PC hardware and software.

Why use MSS where TM might be available in **same** image format and cost?

TM is better for detailed categories.

FAO classification system is satisfactory for international and multinational regional analyses, but individual developing nations should be encouraged to refine classification system, i.e., subdivide FAO categories, compatible with existing national classification systems.

The types of ancillary data used to help photointerpreters should be well documented to later help understand factors affecting reliability.

Prestratification is a good idea, but there is confusion as to the exact criteria used to allocate sample sizes to each stratum, e.g., proportional to land area, forest area, or rate of expected deforestation.

Photointerpreted polygons (and dot grid coordinates) for each **LANDSAT** sample scene would eventually be entered into GIS that can be readily transferred to other institutions, including international institutions. These will be needed eventually for GIS models of land use **change**.

Consult with technical experts to verify that photointerpretations can be accurately registered to **LANDSAT digital data** (e.g., proper projections and adequate control points).

High confusion expected between forest and shrubs. MSS not suitable for separating forest crown cover classes of 70 to 100 percent crown cover from 40 to 70 percent crown cover. TM might be better suited for this purpose.

Must have separate category for natural forest regeneration, which seems to be lumped with shrubland in the current **FAO classification** system.

Ideally, three interpreters should independently interpret each.

**LANDSAT** sample scene and independent interpretations compared as an index of reliability of photointerpretation. At least, a different person should dot-grid **photo**-interpretations to act as a check, or second opinion, for land cover categories that are difficult to interpret.

What is good about FAO proposal:

Feasible by February 1992.

GIS concept has great merit for future analyses of data. GIS for each sample scene will permit detailed analyses and modeling efforts, and GIS for continental-scale features (e.g., **sub**-national unit boundaries with socioeconomic data) will assist modeling more broad-scale processes.

The FAO proposal is well suited to evolve toward better international and national monitoring systems, especially compared to the **FAO methods used for the FAO 1980 assessment**.

Quality of thinking and planning is very good, especially given the limited staffing and time.

## LIST OF ATTENDEES

**Alemañy** Merle, Salvador  
USDA Forest Service  
Institute of Tropical Forestry  
Call Box 25000  
Rio Piedras, **PR** 009282500

Anduaga, Javier  
Oficina **Nacional** de Evaluación  
de Recursos Naturales  
Calle 17 **#355**  
El Palomar-San Isidro  
**Apartado** 4992  
Lima, **Perú**

Beltz, Roy C.  
Supervisory Research Forester  
Southern Forest Experiment Station  
P.O. Box 906  
Starkville, MS 39759 U.S.A.

Bones, James T.  
Branch Chief, Fla  
USDA Forest Service  
P.O. Box 96090  
Washington, DC 20013-6090 U.S.A.

Czaplewski, Raymond L.  
Mathematical Statistician  
USDA Forest Service  
240 W. Prospect  
Fort Collins, CO 805262098 U.S.A.

**Fernández Blanco**, Estrella  
Servicio Forestal Venezolano  
Centro Simon Bolivar  
Torres **del** Silencio-Torre Sur  
**Piso** 18  
Caracas, Venezuela

Gillespie, Andrew J.R.  
Mathematical Statistician  
USDA Forest Service  
Institute of Tropical Forestry  
Call Box 25000  
Rio Piedras, **PR** 00928-2500

Grimaldez **Cordero Gerónimo**  
Centro de Desarrollo Forestal  
Ave. Camacho No. **1471** - 6to **Piso**  
Casilla No. 20398  
La Paz, Bolivia

Hildeman, Anders  
Food and Agriculture Organization  
of the United Nations  
Via Delle Terme Di Caracalla  
00100 Rome, Italy

Iverson, Louis R.  
Terrestrial Plant Ecologist  
607 East Peabody Drive  
Champaign, IL 61820 U.S.A.

Joyce, Armond T.  
Chief, Science Division  
Science and Technology Laboratory  
Stennis Space Center, MS 39529 U.S.A.

Klaver, Jacqueline  
Suislaw National Forest  
4077 Research Way  
Corvallis, OR 97330 U.S.A.

Klaver, Robert W.  
Bureau of Indian Affairs  
Portland Area Office  
911 NE 11th Ave.  
Portland, OR 97323 U.S.A.

Kunkle, Sam  
Tropical Forestry Program  
USDA Forest Service  
IF (Rpe Room **711**)  
P.O. Box 96090  
Washington, DC 20090-6090 U.S.A.

**Lampman**, Scott E.  
Forestry Support Program, IF  
USDA Forest **Service**  
P.O. Box 96090  
Washington, DC 20090-6090 U.S.A.

Lawrence, William T.  
NASA/Goddard Space Flight Center  
Code 923  
Biospheric Science  
Greenbelt, MD 20771 U.S.A.

Lorensi, Jorge  
Cirineu  
Sain La Norte  
70800 Brasilia-DF-Brasil  
**Ibama/Dirped/CSR**

Molina M., Luis Carlos  
Subdirector, Docencia e Investigacibn  
**Apartado Aéreo** 53754  
Bogota 2, Colombia

**Olivera** Almeida, **Sergio Alberto**  
Sain La Norte  
70800 Brsilia-DF-Brasil  
Ibama, Dirped/CSR

**Ortíz**, Guillermo  
Jefe, Departamento **Programación**  
Subsecretaria Forestal y Recursos  
Naturales  
Ministerio **Agrícola** y Ganaderia  
Quito, Ecuador

Pantel, Agamemnon Gus  
Archaeologist-Anthropologist  
Caribbean National Forest  
Call Box 25000  
Rio Piedras, **PR** 009282500

Ramirez Ramirez, Artemio  
Proyecto Bosques Comunes  
Digebos Aid  
7 Av **6-80** Zona 13  
Guatemala City, Guatemala

Ramos Gonzalez, Olga  
USDA Forest Service  
Institute of Tropical Forestry  
Call Box 25000  
Rio Piedras, **PR** 009282500

Recalde Ramos, Facundo **Salomón**  
Servicio Forestal **Nacional**  
Tacary 443  
Edificio **Patrica** - 4to Piso  
**Asunción**, Paraguay

**Rivero** Molina, Mario  
Casilla Correo **#10157**  
La Paz, Bolivia

Rochon, Gilbert L.  
Remote Sensing and GIS Laboratory  
Dillard University  
2601 Gentilly Blvd.  
New Orleans, LA 70122 U.S.A.

**Rondón** Gavidia, William D.  
Seforven-Marnr  
Centro Simon Bolivar  
Torre Sur - **Piso** 18  
El Silencio  
Caracas, Venezuela

**Ruíz** Altamirano, Miguel  
**Dirección** General de Protección  
Forestal  
Ave. Progreso No. 5  
Col. Del Carmen, **Coyoacán**  
Mexico, DF - Mexico

Saborio Bejarano, Javier  
Centro **Agronómico** Tropical  
**Investigación y Enseñanza**  
7170 Turrialba, Costa Rica

Sanchez Guerrero, Roberto  
Clirsén  
Sinieraeuz S/N  
Instituto **Geográfico** Militar 4to.  
Quito, Ecuador

Singh, K.D.  
Project Coordinator  
Food and **Agriculture** Organization  
of the United Nations  
Via Delle Terme Di Caracalla  
00100 Rome, Italy

Skole, David L.  
Institute for the Study of Earth,  
Oceans, and Space  
University of New Hampshire  
Durham, NH 03824 U.S.A.

Taboada Lozada, Rodolfo Jr.  
Natalio Sanchez No. 220  
Oficina 304 Jesus Maria  
Lima, Perú

Tucker, Compton  
NASA/Goddard Space Flight Center  
Code 923  
Greenbelt, MD 20771 U.S.A.

Van Deusen, Paul C.  
Mathematical Statistician  
Southern Forest Experiment Station  
701 Loyola Avenue  
New Orleans, LA 70113 U.S.A.

Vélez Rodriguez, Linda  
Departamento de Ingenieria Civil  
Universidad de Puerto Rico  
Recinto Universitario de Mayagüez  
Mayagüez, PR 00708

Weaver, Peter L.  
Research Forester  
USDA Forest Service  
Institute of Tropical Forestry  
Call Box 25000  
Rio Piedras, PR 00928-2500

The United States Department of Agriculture (USDA) prohibits discrimination in its programs on the basis of race, color, national origin, sex, religion, age, disability, political beliefs, and marital or familial status. (Not all prohibited bases apply to all programs.) Persons with disabilities who require alternative means for communication of program information (braille, large print, audiotape, etc.) should contact the USDA Office of Communications at (202) **720-5881** (voice) or (202) 720-7808 (TDD).

To file a complaint, write the Secretary of Agriculture, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC 20250, or call (202) 720-7327 (voice) or (202) 720-1127 (TDD). USDA is an equal employment opportunity employer.

Gillespie, A. J. R., compiler. 1994. Remote sensing for tropical forest assessment: Evaluacdn de bosques tropicales utilizando la **técnica tele-sensorial**: Proceedings of a workshop; 1991 April 8-12; San Juan, PR. Gen. Tech. Rep. SO-l 13. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 84 p.

This proceedings contains discussions of state-of-the-art methodology for remote sensing of forest environments. The emphasis is on how to incorporate this technology into national forest inventory efforts and how to improve the ability to monitor forest change with remotely sensed data throughout the Tropics.

**Keywords:** AVHRR, forest inventory, forest mapping, GIS technology, global positioning, image modeling, hurricane damage, land cover classification, remotely sensed data, statistical designs, tropical deforestation, tropical forest biomass.