

MAPA DE LOS ECOSISTEMAS DE AMERICA CENTRAL

INFORME FINAL

Daan Vreugdenhil

Jan Meerman

Alain Meyrat

Luis Diego Gómez

Douglas J. Graham

**Financiado por el Acuerdo de Cooperación entre
El Banco Mundial y los Países Bajos**

Este informe puede ser citado de la siguiente manera:

Vreugdenhil, Daan., Jan Meerman, Alain Meyrat, Luis Diego Gómez, and Douglas J.Graham. 2002. *Map of the Ecosystems of Central America: Final Report*. World Bank, Washington, D.C.,

El mapa regional puede ser citado de la siguiente manera:

World Bank and CCAD. 2000. "Ecosystems of Central America (ArcView regional mapFiles at: 1:250,000)." World Bank, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), World Institute for Conservation and Environment (WICE), and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Washington, D.C. (<http://www.worldbank.org/ca-env>)

CONTENIDO

Equipo Científico	
Reconocimientos	
Abreviaciones y Acrónimos	
Prólogo	
1. Introducción y Objetivos	
1.1 Objetivos del Proyecto de Mapeo	
1.2 Disponibilidad de nuestros Datos	
2. Metodología	
2.1 Desarrollo y Coordinación del Equipo	
2.2 Desarrollo de la Metodología de Clasificación de Ecosistemas	
2.3 Recopilación de Datos	
2.4 Procesamiento de Datos	
3. Resultados	
3.1 Resultados por país	
4. Discusión	
4.1 Factores Ecológicos Importantes	
4.2 Consideraciones de Orden Biogeográfico	
4.3 Distinciones Biológicas	
4.4 Cambio Climático	
5. Recomendaciones	
Literatura Citada	
Anexo 1. Leyenda del Mapa de Ecosistemas de América Central	
Gráficos	
1. Proyecto de Mapeo de los Ecosistemas de América Central (flujograma de procesos)	
2. Cuadrícula de Mapas Individuales	

Equipo Científico

Científicos Principales – Equipo Internacional

Ir. Daan Vreugdenhil, Ecologista, *World Institute for Conservation and Environment* (WICE) – (Coordinador Técnico)

Douglas J. Graham, M.Sc., Especialista en Biodiversidad, Banco Mundial – (Task Manager)

Dr. Susan Felicity Iremonger, Científica en Vegetación, *World Conservation Monitoring Center* (WCMC)

Dr. Douglas Muchoney, Científico SIG, *Conservation International* (anteriormente con la Universidad de Boston)

Dr. Luis Diego Gómez, Científico en Vegetación, Organización para Estudios Tropicales (OET)

Alain Meyrat, M.Sc., Ecologista, WICE

Ir. Jan Meerman, Ecologista, WICE

Dr. Jeffrey Jones, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Científicos Principales – Equipos Nacionales

Belice

Ir. Jan Meerman, Ecologista, WICE

Wilber Sabido, Especialista SIG, Programa para Belice

Dr. Susan Felicity Iremonger, Científica en Vegetación, WCMC

Costa Rica

Dr. Luis Diego Gómez, Ph.D., Científico en Vegetación, OET

Wilberth Herrera, M.Sc., Geógrafo, Climatólogo

El Salvador

Dr. Nohemy Ventura, Botánica, Universidad de El Salvador

Ing. Raul F. Villacorta, Botánico

Ir. Peter Sloot, Científico SIG/ Científico en Suelos, DLV Agriconsult, Países Bajos

Guatemala

Prof. Dr. Cesar Castañeda, Botánico

Prof. Dr. Juan José Castillo Montt., Botánico, Universidad de San Carlos

Maurice Carignan, M. Sc., Científico SIG/Remote Sensing; Tecscult (Canadá)

Honduras

Lcda. Thelma M. Mejía, Botánica, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

Ing. Cristóbal Vásquez, Ing. Forestal, Especialista SIG, Administración Forestal del Estado / Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (AFE-COHDEFOR)

Dr. Susan Felicity Iremonger, Científica en Vegetación, WCMC

Dr. Paul House, Especialista en Vegetación, UNAH

Carlos Cerrato, M. Sc., Ecologista Acuático, UNAH

Nicaragua

Alain Meyrat, M.Sc., Ecologista, MARENA/ABC

Dr. Alfred Grijalva, Botánico

Ir. Rob Beck, Científico SIG/Científico en Vegetación, NEO (Países Bajos)

Ir. Daan Vreugdenhil, Ecologista, WICE

Victor Cedeño, Ecólogo, MARENA/ABC

Panamá

Prof. Dr. Mireya D. Correa, Botánica, STRI

Prof. Dr. Luis Carrasquillo, Botánico, Universidad de Panamá

Martín Mitre, Botánico

Maria Stapf, Botánica, STRI

Valery Kapos, M. Sc., Botánica, WCMC

Dr. Abdiel J. Adames, Director de Proyecto, Louis Berger (Panamá)

Abreviaciones y Acrónimos

AFE/		MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (<i>Espectroradiómetro de Resolución Moderada de Imágenes</i>)
COHDEFOR	Administración Forestal del Estado/ Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal	MSS	Multispectral Scanner (<i>Scanner multiespectral</i>)
ANAM	Autoridad Nacional del Ambiente (Panamá)	NASA	National Aeronautics and Space Administration (<i>Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio</i>)
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer (<i>Radiómetro de Muy Alta Resolución</i>)	ODA	Overseas Development Agency (<i>Agencia para el Desarrollo Extranjero</i>)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	ONG	Organización No-Gubernamental
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza	OTS	Organization for Tropical Studies (<i>Organización para Estudios Tropicales</i>)
CBA	Corredor Biológico del Atlántico (Nicaragua)	PAAR	Proyecto de Administración de Areas Protegidas Rurales (Honduras / Banco Mundial)
CBMAP	Corredor Biológico Mesoamericano del Atlántico Panameño	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CBM	Corredor Biológico Mesoamericano	PROARCA	Programa Ambiental Regional para Centro América (USAID)
DGIS	Directoraat-Generaal Internationale Samenwerking (<i>Dirección General para la Cooperación Internacional</i>) (Países Bajos)	PROBAP	Proyecto de Biodiversidad en Areas Protegidas (Honduras / Banco Mundial)
EROS	Earth Resources Observation Systems Data Center (USGS) (<i>Centro de Datos de los Sistemas de Observación de los Recursos de la Tierra</i>)	SICA	Sistema de integración Centroamericana
FAO	Agencia de las Naciones Unidas para la Agricultura	SINAC	Sistema Nacional de Areas Protegidas de Conservación (Costa Rica)
GEF	Global Environmental Facility (<i>Facilidad Ambiental Global</i>)	SPOT	Satellite pour L'Observation de la Terre (<i>Satélite para la Observación de la Tierra</i>)
GIS	Geographic Information System (<i>Sistema de Información Geográfica</i>)	STEP	System for Terrestrial Ecosystem Parameterization (<i>Sistema para la Parametrización de Ecosistemas Terrestres</i>)
GPS	Global Positioning System (<i>Sistema de Posicionamiento Global</i>)	STRI	Smithsonian Tropical Research Institute (<i>Instituto Smithsonian para la Investigación Tropical (Panamá)</i>)
ILWIS	Integrated Land and Water Information System (<i>Sistema Integrado para Información de Tierras y Agua</i>)	TM	Thematic Mapper (<i>Mapeador Temático</i>)
INAB	Instituto Nacional de Bosques (Guatemala)	TNC	The Nature Conservancy
INBio	Instituto Nacional de Biodiversidad (Costa Rica)	UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales	UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, las Ciencias y la Cultura
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia	USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
ITC	International Training Center (<i>Centro Internacional de Capacitación – Países Bajos</i>)	USGS	United States Geological Service (<i>Servicio Geológico de los EEUU</i>)
UICN	World Conservation Union (<i>Gremio para la Conservación Mundial</i>)	USNCS	United States National Classification Center (<i>Centro Nacional de los Estados Unidos para la Clasificación</i>)
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (Nicaragua)	UTM	Universal Transverse Mercator
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (El Salvador)	WCMC	World Conservation Monitoring Center (<i>Centro Mundial para el Monitoreo de la Conservación</i>)
MINAE	Ministerio del Ambiente y Energía (Costa Rica)	WICE	World Institute for Conservation and Environment
		WWF	World Wide Fund for Nature

Reconocimientos

La producción del Mapa de los Ecosistemas de América Central fue un esfuerzo de equipo por parte de las instituciones dedicadas a la biodiversidad y a la conservación ambiental de los países centroamericanos y por parte de su institución coordinadora, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Sin embargo, es justo señalar que el mapa es la culminación de décadas de investigación por parte de ecologistas de toda la región, muchos de los cuales están o han estado asociados a universidades nacionales.

El equipo – bajo la coordinación de Daan Vreugdenhil del *World Institute for Conservation and Environment (WICE)* y Douglas J. Graham del Banco Mundial – expresa su agradecimiento al Sr. Mauricio Castro, Director Ejecutivo de la CCAD, por su visión y apoyo, y al Sr. Lorenzo Cardenal, Director del Proyecto del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) de la CCAD. El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica fue contratado para preparar el archivo final Arcview del mapa regional en base a los archivos de los mapas nacionales. El Cuadro 1 del informe proporciona una lista completa de las instituciones y funcionarios claves que colaboraron en este esfuerzo. Los principales científicos que participaron están listados en la página anterior.

Este esfuerzo fue posible gracias al financiamiento de varias fuentes, incluyendo el Directorio General para la Cooperación Técnica de los Países Bajos (DGIS); el *Global Environment Facility* (a través de proyectos del CBM implementados por el Banco Mundial y un proyecto regional del CBM implementado a través del PNUD); los países participantes, y el Banco Mundial. La iniciativa tuvo un costo de aproximadamente \$2 millones y se llevó a cabo entre principios de 1999 y mediados del 2001.

Quisiéramos reconocer, en particular, la colaboración de Mark E. Cackler, John Redwood, Teresa Serra, y Arsenio Rodríguez del Banco Mundial; Ton van der Zon del Directorio General para la Cooperación Técnica de los Países Bajos, y Sjef IJzermans de la Embajada de los Países Bajos en Washington.

Nuestro reconocimiento también para el personal de apoyo del Banco Mundial, en particular a Marie-Claude Haxaire, Diana Montas, Lia van Broekhoven, y particularmente a Peter Brandriss por su ayuda en la edición de este documento.

Prólogo

La biodiversidad no conoce fronteras. Esto es particularmente cierto de los pequeños pero altamente interconectados países del puente mesoamericano que se extiende desde Guatemala y Belice en el norte, hasta Panamá en el sur, atravesando los El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

Los ecologistas han reconocido desde hace mucho que, para poder comprender, monitorear, conservar y hacer un uso sostenible de los recursos de la biodiversidad de América Central, éstos deben abordarse y estudiarse desde un punto de vista regional. Esto se ha vuelto más imperativo en el contexto de la visión compartida de la conservación y del desarrollo rural presentada por el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), y de la implementación de enfoques regionales a temas ambientales bajo la orientación de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), que representa a todos los ministerios ambientalistas de la región.

Hasta ahora, no se había contado con un detalle del status y distribución de los ecosistemas en América Central. Teníamos cálculos aproximados y cifras globales de los niveles de deforestación, pero no conocíamos a ciencia cierta la complejidad de los ecosistemas y su distribución, dónde se encontraban las amenazas principales, y qué tan bien representados estaban los diferentes ecosistemas en las áreas protegidas de América Central.

Desde 1999 hasta principios del 2001, bajo los auspicios y coordinación general de la CCAD y del Banco Mundial, las instituciones ambientales de los países miembros de la CCAD, tanto gubernamentales como no gubernamentales, completaron un nuevo mapa de ecosistemas a fin de poder enfrentar estos retos. Un equipo nacional de biólogos y especialistas de apoyo en cada país participante trabajó durante un período de más de dos años para hacer un mapeo de los ecosistemas de sus respectivos países. Los biólogos principales de los equipos nacionales participaron en un proceso sincronizado de producción y de armonización de métodos de producción bajo la dirección del Banco Mundial. Los biólogos nacionales se complementaron con un equipo de especialistas internacionales.

El objetivo principal del proyecto fue mapear y describir la actual distribución de los ecosistemas en América Central. Esta información es vital para establecer una línea de base moderna del estado de conservación y ubicación de la biodiversidad de la región, que constituirá la base de los programas de monitoreo biológico, tanto nacionales como regionales. Esta información también permitirá a la región avanzar concretamente hacia la definición geográfica del CBM y ayudará a los países en la planificación a largo plazo del uso de la tierra.

Los mapas y datos recopilados por los expertos centroamericanos deberán ser estudiados en detalle, y corregidos y mejorados según sea necesario. También habrá necesidad de una colaboración a nivel regional a fin de montar una estrategia coherente de monitoreo y mantener la integridad del mapa regional. Sin embargo, una mirada rápida al mismo revela dos conclusiones obvias:

- a) El Corredor Biológico Mesoamericano es más que un simple concepto; un observador posicionado desde el espacio podría observar corredores de hábitats naturales extendiéndose desde el sur de México hasta Colombia, si bien los mismos son precarios y están fragmentados en varias áreas. Esto reafirma la importancia de Mesoamérica como uno de los puntos biológicos más importantes en el mundo, y como una carretera biológica entre Norte y Sur América.
- b) El CBM está seriamente amenazado y su futuro es muy incierto. La rapidez con la que las riquezas naturales de América Central han sido transformadas en las últimas décadas es verdaderamente sorprendente. El mapa muestra que por lo menos la mitad del istmo centroamericano ya ha sido modificado sustancialmente por actividad humana. Estas “áreas grises” contienen, a lo sumo, sólo minúsculos islotes de hábitat natural que no están conectados entre sí. La región sigue plagada por problemas de pobreza y subdesarrollo, y se espera que la población se duplique en los próximos 20 a 30 años. Los centroamericanos enfrentarán un enorme reto al tratar de mantener áreas saludables y viables que a la vez sean representativas de su patrimonio de recursos biológicos y naturales. El concepto del CBM en sí, que combina las necesidades tanto de desarrollo como de conservación, es una respuesta muy alentadora a este reto.

*John Redwood, Director
Desarrollo Ambientalmente y Socialmente Sostenible
Oficina Regional para América Latina y el Caribe
Banco Mundial*

1. Introducción y Objetivos

Existen todavía fajas esencialmente intactas de hábitat natural que vinculan a México con Colombia, si bien es cierto presentan ciertas interrupciones y están bajo la presión inclemente de la frontera agrícola. Estas fajas de hábitat natural, consideradas dentro del marco de una determinación colectiva de conservarlas y utilizarlas de manera sostenible como parte de una estrategia global de desarrollo rural, es lo que se denomina el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM).¹

Para todos los países centroamericanos y para la comunidad mundial en general, se ha convertido en una prioridad conservar las riquezas biológicas y socioculturales de estas áreas y asegurar su uso y desarrollo sostenible. El concepto del CBM ha sido adoptado por los jefes de estados de los países centroamericanos y endosado por varios tratados y organizaciones intergubernamentales, convirtiéndose en el punto central de las políticas ambientalistas y de desarrollo de cada uno de los países involucrados.

Inicialmente, el CBM representó un esfuerzo de cooperación entre los siete países centroamericanos, desde Belice hasta Panamá, pero en la actualidad abarca también los cinco estados sureños de México y el departamento de Chocó en Colombia.

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), que representa a los ministerios ambientalistas de todos los países de Centro América, juega un papel importante en el desarrollo, coordinación y promoción del CBM. Además, muchas entidades contribuyen de manera significativa a la consolidación del CBM, incluyendo organizaciones bilaterales y multilaterales, donantes, el *Global Environmental Facility (GEF)*, ONGs, organizaciones de base, organizaciones gubernamentales y otros socios en el desarrollo.

Para alcanzar la meta de consolidar el CBM, se hacía necesario una mejor comprensión de la naturaleza y extensión de la vasta riqueza de la región en cuanto a diversidad biológica y biogeográfica. Es así como surge la determinación de producir el primer diagnóstico detallado de los ecosistemas de la región.

1.1 Objetivos del Proyecto de Mapeo

Inspirado en el marco del CBM, el objetivo principal del proyecto de mapeo es el de mapear y describir los ecosistemas de Mesoamérica (Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá), utilizando un sistema global de clasificación² endosado a nivel regional. El mapa y los datos asociados al mismo representan una línea de base para la región para los años 1997 a 1999, y constituyen las bases para un programa regional de monitoreo de cambios en el hábitat natural.

¹ Para mayor información sobre el CBM, favor referirse al sitio web del proyecto regional del CBM del GEF/CCAD (<http://www.biomeso.net/>)

² Aquellas islas ubicadas a más de 100 kilómetros de la costa no están incluidas en el mapa.

Algunos de los beneficios claves que se esperan del proyecto incluyen:

- insumos para la demarcación geográfica del CBM;
- insumos para estrategias nacionales de conservación y desarrollo rural;
- priorización de las áreas protegidas (mediante análisis de brecha), en vista de que nuestros ecosistemas son una aproximación de los conjuntos únicos de comunidades de animales y plantas y de procesos ecológicos;
- diagnóstico del valor de la conservación de las áreas protegidas;
- la creación de una línea de base para estudios ecológicos posteriores y el monitoreo de la biodiversidad;
- mejor información para diagnósticos de impacto ambiental; y
- una mejor comprensión de la ecología de la región por parte de los científicos nacionales e internacionales.

1.2 Disponibilidad de Nuestros Datos

Los datos e información generada en el contexto de este proyecto ya están a la disposición del público en general. La siguiente información digital puede ser accesada del sitio web del Banco Mundial para proyectos ambientales en América Central (<http://www.worldbank.org/ca-env>):³

- *Arcview shapefiles* por país y un archivo integrado para la región. Los archivos y los metadatos son gentilmente auspiciados por *Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center of the United States Geological Survey* (Centro de Datos de los Sistemas para la Observación de los Recursos de la Tierra del Sistema Geológico de los Estados Unidos: USGS);
- Archivos de bases de datos por país y una base de datos integrada y regional;
- Archivos *Adobe Acrobat* de este informe final y sus anexos;
- Reportes adicionales conexos;
- Archivos imprimibles de mapas nacionales (a escala de 1:250,000);
- Archivos en powerpoint en resolución reducida de las hojas individuales del mapa regional integrado; y
- Archivos procesados de imágenes satelitales remotas (mediante el sitio EROS) también están disponibles a precio de costo.

Los archivos originales del Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) de cada país son propiedad de, y están en manos de, cada país. Están disponibles en CDs en la mayoría de los países, y son distribuidos por las instituciones participantes. Se está tratando de llegar a un acuerdo para contar con un repositorio común y regional de datos para los mapas y las bases de datos, a medida que sean corregidos y depurados.

³ Véase también el sitio web de WICE: http://birdlist.org/cam/central_america.htm.

2. Metodología

La Figura 1 muestra el esquema de la metodología del Proyecto de Mapeo de Ecosistemas. Se esbozan cuatro áreas temáticas principales: a) desarrollo y coordinación del equipo; (b) desarrollo de la metodología; (c) recopilación de los datos; (d) procesamiento de los datos. Las siguientes secciones describen el enfoque adoptado en cada una de dichas áreas.

2.1 Desarrollo y Coordinación del Equipo

Selección de los Especialistas Internacionales y Nacionales

El proyecto de mapeo fue ejecutado por equipos nacionales de cada uno de los países participantes, bajo la coordinación y asistencia de un equipo internacional. En una etapa muy inicial, se procedió a seleccionar al Coordinador Técnico (Vreugdenhil), así como un equipo de científicos internacionales con vasta experiencia en mapeo de vegetación y en el uso de aplicaciones del sistema de información geográfica (GIS) y *remote sensing* (sensores remotos). Sus nombres aparecen al inicio de este informe.

En cada país se contactaron a las autoridades en el campo de la conservación de la biodiversidad y/o mapeo; éstas proporcionaron un apoyo importante durante la vida del proyecto. Los nombres de muchas de estas autoridades aparecen en el Cuadro 1.

Las opciones de producción fueron discutidas con las autoridades nacionales, y en cada país fueron contactados científicos de universidades nacionales o de otras instituciones. Se llevó a cabo una licitación internacional en Guatemala y en Panamá para la contratación de una firma principal, que luego fue fortalecida por botánicos nacionales de renombre y por un equipo de científicos internacionales. En todos los demás países se establecieron equipos nacionales, conformados por científicos nacionales apoyados por un pequeño equipo de científicos internacionales. Los científicos principales de los equipos nacionales aparecen en la página iv de este informe.

Eventos de Capacitación y de Coordinación

Hubo un buen número de intercambios entre todos los participantes para decidir la metodología a seguir y para intercambiar experiencias durante el transcurso del trabajo. Adicionalmente, una vez que la decisión fue tomada en cuanto al método y el enfoque a seguir, todos los científicos participantes fueron capacitados en la metodología, interpretación y manejo de imágenes, uso de aplicaciones GIS, etc. En total, unos 20 científicos nacionales y funcionarios gubernamentales participaron en jornadas intensivas de capacitación, y muchos más en las distintas reuniones y talleres que fueron organizados.

El Proyecto del Mapeo de los Ecosistemas involucró cinco talleres/jornadas de capacitación en el transcurso del proceso de mapeo. Los datos y los temas de dichas sesiones se enumeran en el Cuadro 2.

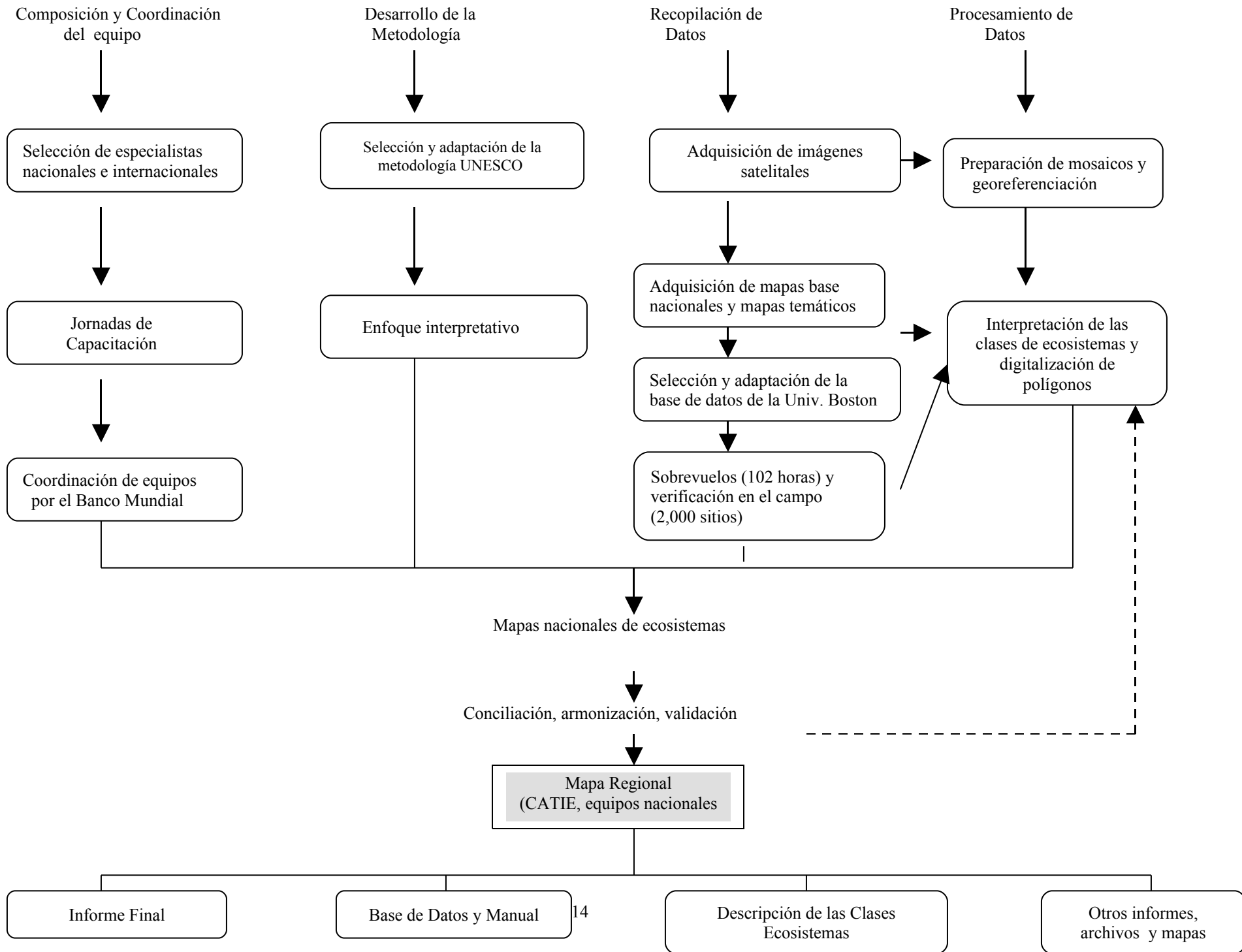
La armonización y compatibilidad regional entre los diferentes esfuerzos nacionales se logró a través de varios mecanismos:

- capacitación conjunta
- coordinación a través de visitas frecuentes realizadas por el Coordinador Técnico (Vreugdenhil) a cada uno de los países participantes
- fomento de la coordinación entre países a nivel político, técnico e institucional, por parte del Banco Mundial y de la CCAD
- la creación de una tabla integrada y cruzada de clasificación regional
- la organización de un taller para la integración final
- la preparación de descripciones de ecosistemas

Cuadro 1. Autoridades Gubernamentales y No-Gubernamentales que Colaboraron

<i>País</i>	<i>Funcionario</i>	<i>Instituciones que Colaboraron</i>
Belice	Noreen Fairweather Joy Grant	Land Information Center (LIC) Programme for Belice (PfB)
Guatemala	Francisco López	Instituto Nacional de Bosques (INAB) / Comisión Nacional de Biodiversidad (CONAB)
El Salvador	Francisco Delgado	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Honduras	Víctor Archaga Ricardo Arias Eduardo Canales Sergio Midence	AFE / COHDEFOR Proyecto de Administración de Areas Rurales (PAAR) (proyecto del Banco Mundial) PROBAP (proyecto Banco Mundial / GEF) Proyecto de Administración de Areas Rurales (PAAR)
Nicaragua	Leonardo Chávez García Cantarero Víctor Cedeño	Mín del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) Corredor Biológico del Atlántico (CBA) (proyecto Banco Mundial / GEF CBA
Costa Rica	Damaris Garita Luis Diego Gómez	Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) Organization of Tropical Studies (OTS)
Panamá	Iván Valdespino Gina Castro	CBMAP / ANAM (proyecto Banco Mundial / GEF) CBMAP / ANAM

FIGURA 1. PROYECTO DE MAPA DE LOS ECOSISTEMAS DE AMERICA CENTRAL



2.2 Desarrollo de la Metodología para la Clasificación de los Ecosistemas

Visión Global de los Sistemas de Clasificación

Varios esquemas se han utilizado para describir los hábitats naturales:

- a) Ecoregiones
- b) El Sistema de Zonas de Vida de Holdridge
- c) Sistemas florísticos de clasificación
- d) Sistemas fisonómicos y fisonómico/florísticos de clasificación
- e) Sistemas combinados fisonómico/ecológicos de clasificación (el sistema UNESCO, por ejemplo)

En el proyecto de mapeo centroamericano se utilizó una versión modificada del sistema UNESCO. Antes de proceder a explicar este sistema en más detalle, veamos algunas de las ventajas y desventajas de otros sistemas y su uso en América Central.

Ecoregiones

Las ecoregiones representan una tipología de unidades de hábitats naturales apropiada para escalas continentales de alrededor de 1:5,000,000 o mayores. Un estudio conjunto del WWF/Banco Mundial (Dinerstein, et al 1995) sobre las prioridades de la conservación en América Latina y el Caribe define una ecoregión de la siguiente manera:

Un conjunto geográficamente distintivo de comunidades naturales que comparten una gran mayoría de sus especies, dinámicas ecológicas, y condiciones ambientales similares, y cuyas interacciones ecológicas son críticas para su continuidad a largo plazo.

En el estudio de 1995 se definieron 21 ecoregiones para América Central. Este mapa ha sido revisado desde entonces. WWF está próximo a preparar un libro con un nuevo mapa y descripciones de cada ecoregión.

Esta definición de una *ecoregión* se asemeja a nuestra definición de un *ecosistema*, pero difiere dramáticamente en relación a la escala a la cual está definida. Las ecoregiones de América Latina y del Caribe fueron mapeadas a una escala de alrededor de 1:10,000,000, que si bien es útil para la planificación de la conservación a escalas continentales, no tienen el suficiente nivel de detalle para fines de conservación y planificación a escala nacional o local. En contraste, el Mapa de los Ecosistemas de América Latina tiene una escala de 1:250,000.

El Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge

En América Latina, la descripción de formaciones ecológicas terrestres se ha basado arrolladoramente en el sistema de clasificación de las Zonas de Vida de Holdridge et al. (1971) y de Holdridge (1978). Su uso ha sido, y continúa siendo, tan importante en América Central que lo describiremos en algún grado de detalle en este documento.

Este método asume que las clases de vegetación varían en función de ciertos gradientes climáticos y altitudinales. Por lo tanto, es de suma importancia hacer notar que el sistema de Holdridge es *predictivo* en lugar de *descriptivo*, al contrario de todos los otros sistemas de clasificación descritos en este documento.

Holdridge afirma que un sistema global de zonas de vida puede establecerse sobre la base de precipitación y temperatura. El utiliza el concepto “biotemperatura”, que toma en cuenta la gama de temperaturas óptimas para plantas. Un segundo factor de temperatura que él toma en cuenta es la disminución de la temperatura al incrementarse la elevación, alrededor de 6° C por cada 1,000 metros. Un tercer factor es la evapotranspiración, para la cual desarrolló su propia fórmula. Holdridge luego asoció un tipo de vegetación típica con las diferentes zonas de vida que él ha identificado en base a precipitación, biotemperatura, altitud y evapotranspiración.

El método de zonas de vida de Holdridge ofrecía una solución interesante para la diferenciación de hábitats en una época en que la fotografía aérea (bastante cara, frecuentemente imposible de obtener, o clasificada militarmente) era escasa, y las imágenes satelitales eran muy burdas y no estaban a la disposición del público. Su sistema también ofrecía la ventaja de poder determinar zonas de vida mediante el uso de información disponible a partir de estaciones pronosticadoras del tiempo (sin embargo, era una desventaja en aquellas áreas en donde no había este tipo de estaciones).

Sin embargo, los mapas de zonas de vida de Holdridge son de carácter predictivo para comunidades naturales. No informan al usuario de la presencia o ausencia de un tipo de comunidad natural, su apariencia (fisonomía) tal y como se observa en el campo, o su sustitución por un sistema humano productivo. No toma en consideración factores dinámicos de cambio, como los incendios o los tipos de drenado.

En los años 70, se prepararon mapas de zonas de vida para la mayoría de los países de Centro América, con unas 8 a 12 clases por país. La demarcación de estas clases es bastante burda y refleja la mala calidad de los datos básicos. Cabe decir que han fracasado los intentos subsiguientes por parte de ecólogos de vegetación en Centro América de generar mapas más detallados utilizando el sistema Holdridge (Paul House, pers.comm 2001).

Sistemas de Clasificación Florística

Los sistemas de clasificación florística dependen de la composición de las especies o grupos de especies, en lugar de depender de los patrones fisonómicos de especies dominantes. Los patrones de sucesión, los disturbios, la historia (incluyendo la paleoecología), y las comunidades naturales pueden evaluarse mejor a través de la composición florística que a través de la fisonomía (Glenn-Lewin y van der Maarel 1992). Las clasificaciones más sistemáticas de vegetación que se han desarrollado son las de Zürich-Montpellier o de Braun-Blanquet, y la asociación/sistema de tipo de hábitat de Daubenmire. Cada uno de estos sistemas utiliza una unidad florística básica llamada asociación, definida como “un tipo de comunidad de planta con una composición florística definida, condiciones uniformes de hábitat y una fisonomía uniforme.” Braun-Blanquet (1928, citado en Moravec 1993) definió la asociación como “una comunidad de plantas caracterizada por rasgos florísticos y sociológicos definidos, que refleja una cierta independencia por la presencia de especies-características (exclusiva, selectiva, y preferencial).” Las asociaciones de plantas que comparten especies diagnósticas se agrupan en unidades florísticas superiores llamadas alianzas, órdenes y clases (véase Pignatti et al 1995). Las “especies características” se basan en el concepto de la fidelidad, es decir, el grado en que una especie está limitada a una asociación definida (o a otros tipos florísticos por encima o por debajo de la jerarquía taxonómica). Las especies características y otras de alta fidelidad (es decir, aquellas presentes en por lo menos 60% de los bosques), junto con ciertas consideraciones ecológicas y geográficas, ayudan a definir una asociación.

Los métodos florísticos pueden revelar patrones locales y regionales de vegetación. Sin embargo, dependen de muestreos intensivos en el campo y de un conocimiento detallado de la flora, y ambos factores representan un problema en los trópicos, donde el conocimiento que se tiene de las especies es muy pobre. También requiere de un análisis sustancial cuantitativo de datos relativos a los bosques para determinar los grupos diagnósticos de especies. El uso de especies de diagnóstico funciona bien en climas templados y hábitats no boscosos en los trópicos (Cleef, pers comm., 2000), pero el sistema tiende a ser inaplicable en bosques tropicales.

Sistemas Fisonómicos y Fisonómico/Florísticos

Los ecosistemas o unidades de hábitats naturales pueden definirse únicamente en función de su fisonomía (estructura o apariencia física). El enfoque fisonómico asume que cada forma de vida refleja una estrategia que ha sido seleccionada bajo presiones ecológicas, y que la composición de las formas de vida en un tipo de vegetación está gobernada por estas estrategias (Whittaker 1975). Puesto que los atributos fisonómicos pertenecen a especies individuales, el reconocimiento de un conjunto fisonómico depende de la coexistencia de especies en un área dada (Bourgeron and Engelking 1994). Estas especies que coexisten pueden ser clasificadas con mayor detalle mediante métodos florísticos. Estos han sido muy poco utilizados en América Central y tienen la desventaja de que los ecólogos locales no están familiarizados con su uso. Tienen,

además, la desventaja de que no capturan o estiman suficiente información relativa a la diversidad biológica y a los procesos ecológicos.

Se han hecho varios intentos por combinar los sistemas fisonómicos y los florísticos. Varios estudios (Rubel 1930; Whittaker 1962; Westhoff 1967; Webb et al. 1970; Bearad 1973; Werger and Sprangers 1982; Taylor 1959 en Nicaragua; Grossman et al. 1998) han encontrado buena correspondencia entre las clasificaciones florísticas y las fisonómicas de una misma vegetación. Lauer (en los años 50) hizo una clasificación de formas de vegetación en El Salvador, basado en criterios fisonómicos y climáticos. En América Central, Wright et al. (1959) desarrollaron una clasificación fisonómica/florística de vegetación para Belice.

El Sistema Nacional de Clasificación de los Estados Unidos (USNCS por sus siglas en inglés) es digno de mencionarse puesto que combina un enfoque fisonómico con un enfoque florístico. Una gran desventaja del USNCS es que ha sido utilizado en gran escala únicamente en los Estados Unidos (Grossman et al., 1998), aunque el mapa PROARCA/CAPAS/TNC de Centro América, producido a una escala de 1:1,000,000, está basado oficialmente en el USNCS.

El Sistema UNESCO de Clasificación Fisonómico-Ecológico

En 1974, Mueller-Dombois & Ellenberg desarrollaron “Una Clasificación Fisonómica-Ecológica Tentativa de las Formaciones de Plantas de la Tierra”, en nombre de la UNESCO. De aquí en adelante nos referiremos a él como el “sistema UNESCO” (véase el sitio web del Banco Mundial para una versión digital del original). Describe las estructuras vegetativas sobre la tierra y bajo el agua y sus coberturas, tal y como se observan en el campo, descritas como “formas de vida de plantas”. Esta clasificación es fundamentalmente un sistema de clasificación de vegetación, independiente de especies, jerárquico, que toma en cuenta factores ecológicos como el clima, la elevación, las influencias humanas (como el pastoreo), los regímenes hídricos, y las estrategias de sobrevivencia (como la estacionalidad).

Los diferentes niveles de la jerarquía de clasificación se distinguen por distintos símbolos:

I, II, etc	=	Clase de Formación (<i>Formation Class</i>)
A, B, etc.	=	Subclase de Formación (<i>Formation Subclass</i>)
1, 2, etc.	=	Grupo de Formación (<i>Formation Group</i>)
a, b, etc	=	Formación (<i>Formation</i>)
(1), (2), etc.	=	Sub-Formación (<i>Sub-Formation</i>)
(a), (b), etc.	=	Subdivisiones adicionales (<i>Further subdivisions</i>)

Las clases de formación en la jerarquía UNESCO son las siguientes:

- I. *Bosques Cerrados*. Formados por árboles con una altura de por lo menos 5m, con copas entrelazadas, que cubren 65% del cielo o más.

- II. *Bosques Abiertos*. Formados por árboles con una altura de por lo menos 5m, en donde la mayor parte de sus coronas no se entrelazan, pero cubren por lo menos 30% del cielo.
- III. *Arbustales*. Tierras cubiertas por arbustales o matorrales, compuestos mayormente de fanerofitas leñosas (arbustos o pequeños árboles) de entre 0.5 y 5 metros de altura. Las coronas pueden o no tocarse entre sí, pero cubren por lo menos 30% del cielo.
- IV. *Arbustales enanos y comunidades afines*. Raramente exceden los 50 cm de altura (llamados a veces brezo o formaciones en forma de brezales).
- V. *Comunidades Herbáceas Terrestres*. Hierbas, graminoides y otras plantas herbáceas predominan en la cobertura. Puede haber presencia de plantas leñosas (árboles o arbustos), aunque no cubren mas del 30%. (Dentro de esta categoría se describen las sabanas, las estepas o las llanuras. Es importante aclarar que estas clases no se refieren a condiciones geomorfológicas. Algunas sabanas o llanuras pueden encontrarse en terrenos planos, con colinas o en terrenos escarpados).
- VI. *Desiertos y Otras Areas con Escasa Vegetación*. Su aspecto está determinado por un suelo mineral raso o por peñascos. Las plantas están esparcidas o pueden estar ausentes (los sub-desiertos están incluidos en las clases de formación de la III a la V);
- VII. *Formaciones de Plantas Acuáticas*. Formaciones no marinas compuestas de plantas enraizadas y/o flotantes que resisten o necesitan que el agua cubra el terreno constantemente o la mayor parte del año.

Estas siete clases de formaciones cubren todos los ecosistemas de la Tierra, excepto por los sistemas de agua abierta y los ecosistemas congelados (los autores del sistema UNESCO sugieren el uso de una clasificación geomorfológica para los desiertos sin vegetación, pero no dan mayores explicaciones al respecto.)

Las subdivisiones del sistema UNESCO por debajo del nivel de Clases de Formación varían considerablemente en la forma en cómo se definen. Dependiendo del tipo de hábitat, las subdivisiones pueden basarse en características puramente fisonómicas, en procesos ecológicos como las inundaciones, o pueden tomar en cuenta condiciones altitudinales o climáticas. Esta flexibilidad del sistema UNESCO permitió a sus autores originales diseñar un sistema que reflejara la importancia relativa y variada de diferentes factores en los distintos tipos de ecosistemas, reconociendo que una taxonomía de ecosistemas no puede ceñirse a prescripciones rígidas de uniformidad en consideración de un factor sobre otro.

En el transcurso de las décadas pasadas, la clasificación UNESCO ha probado ser de fácil manejo en el campo, y ha sido aplicada en todos los continentes y para clases de vegetación de todo tipo de climas. El sistema es intuitivo y puede ser fácilmente aprendido aún por biólogos poco experimentados, ya que no requiere ningún conocimiento taxonómico. Es apropiado para la interpretación de fotografía aérea y, más recientemente, ha resultado apropiado para el trabajo con fotografías satelitales remotas.

Puig, et al. (1981) produjeron un mapa de vegetación bioclimática de América del Sur, combinando la clasificación UNESCO con datos climáticos. El mapa, basado en 600 imágenes LANDSAT 1 y 2, es probablemente el primer gran intento en América Latina de utilizar imágenes satelitales para el mapeo de vegetación.

El sistema de clasificación UNESCO es bastante bien conocido en América Central. El primer mapa nacional de vegetación fisonómica basado en la clasificación UNESCO fue preparado en 1986, para Costa Rica, por Gómez (1986a).

Otro uso importante de la clasificación UNESCO es el mapa de ecosistemas para Belice. Fue producido con financiamiento conjunto del BID y de la USAID, en cooperación con el Programa para Belice (Iremonger and Brokaw, 1995). Fue asimismo el primer mapa en la región que intentó integrar los ecosistemas acuáticos a una clasificación tipo UNESCO. Al mapa de Belice le siguió el mapa de ecosistemas para Honduras (Iremonger, 1997), financiado a través de un préstamo del Banco Mundial.

Cabe señalar, sin embargo, que Iremonger y Brokaw (1995) e Iremonger (1997) utilizaron una interpretación bastante libre del sistema UNESCO, cuya nomenclatura fue adaptada a sus necesidades.

Adaptación de la Clasificación UNESCO a América Central

En vista de las fortalezas y debilidades de los diferentes sistemas de clasificación disponibles, y dada la amplia experiencia de los expertos centroamericanos con el sistema UNESCO, éste último fue escogido para este proyecto de mapeo. La decisión se tomó durante el taller en Guatemala, organizado en el mes de septiembre de 1999, para finalizar el enfoque metodológico. Fue unánimemente endosado por los representantes de los siete países participantes.

El sistema, sin embargo, sufrió algunas modificaciones; ciertos cambios adicionales fueron incorporados en el transcurso de los siguientes dos años a fin de adaptar el sistema a Centro América (en adelante denominado la “Clasificación Centroamericana UNESCO”). Todos los cambios y las modificaciones fueron propuestos y discutidos en los talleres que reunían a especialistas internacionales y representantes de todos los países.

Bajo la Clasificación Centroamericana UNESCO, un ecosistema es definido como *una unidad relativamente homogénea (distinguible a nuestra escala de 1:250,000) de organismos, procesos ecológicos y elementos geofísicos como el suelo, clima y régimen de aguas, que interactúan entre sí. Un ecosistema se define primordialmente por la apariencia física y estructura (fisonomía) de su especie dominante de planta, y también por sus procesos ecológicos dominantes, como ser el fuego, inundaciones y pastoreo.*

Definido en estos términos, se considera que un ecosistema es una aproximación de una comunidad relativamente homogénea y única de especies, que permite el uso de

nuestros datos para aproximar la información que pudiera recogerse a partir de inventarios globales de fauna y flora.

El siguiente texto y el Anexo 1 (el pie de grabado del Mapa de los Ecosistemas de América Central) describen los elementos principales de nuestra clasificación.

Si bien nunca se tomó una decisión formal ni se transmitió la misma a los equipos de los países, la Clase de Formación II (Bosque Abiertos) no fue utilizada por ninguno de los equipos de los países. Obviamente, existen áreas de hábitat con una cobertura de bosque menor al 65% (el corte crítico para la Formación I, Bosques Cerrados) y mayor de un 30% (el corte crítico para la Formación V, Sabanas), pero éstas fueron consideradas sólo como zonas de transición, estrechas y pobremente definidas, sin derecho a ser mapeadas, demasiado pequeñas para ser mapeadas, o mapeadas como bosques cerrados antrópicamente intervenidos. De llevarse a cabo más estudios en el campo, éstos podrían identificar bosques Formación II bien definidos. Las formaciones de roble en áreas rocosas sub-montanas representan un candidato con bastantes posibilidades para esta formación.

Se prepararon descripciones para cada una de las clases reconocidas de ecosistemas. Estas se presentan en las “Descripciones de los Ecosistema de América Central”, trabajo que se ha publicado por aparte, y que está disponible únicamente en el idioma español. Consideramos que estas descripciones constituyen un proceso en marcha, y anticipamos que serán refinadas y mejoradas en el futuro. Se mencionan las sub-divisiones dentro de dichas clases. Las descripciones combinan información tomada de la base de datos, de los conocimientos de los especialistas participantes, y de análisis literarios. Después de que se revisaron las formas, los científicos principales en cada país fueron entrevistados personalmente por el equipo encargado de preparar el informe final, mientras que el entrevistador hacía un cruce de la información y literatura de otros países con los científicos que estaban siendo entrevistados. La información que se recogió fue incorporada en nuevos formatos de descripción.

Se dió atención especial a los ecosistemas acuáticos. Para éstos, la información zoológica es de vital importancia, puesto que es la parte más visible de los sistemas acuáticos abiertos. A pesar de que pueden no aparecer en el mapa, se describieron unos cuantos ecosistemas acuáticos, demasiado pequeños para ser mapeados a una escala de 1:250,000.

Condiciones climáticas

A pesar de la importancia de las condiciones climáticas locales, el sistema de clasificación UNESCO sólo toma en consideración las zonas climáticas amplias como la “tropical” y el “templado”. En Centro América, todos los ecosistemas son “tropicales” en el sistema UNESCO. Indirectamente, sin embargo, el sistema UNESCO sí toma en consideración el efecto de las condiciones climáticas locales, dado su efecto en las formas de vida fisonómicas.

Adicionalmente, el sistema UNESCO incluye términos altitudinales, que son aproximaciones efectivas para las condiciones climáticas en vista de la estrecha relación entre la altitud y el clima. Como ya hemos visto en la sección en donde se explica el Sistema Holdridge, las condiciones ecológicas varían marcadamente con cambios en la elevación. La precipitación y la humedad generalmente aumentan con la altitud, si bien el drenado es generalmente bueno en condiciones montañosas escarpadas en América Central. Mas aún, en regiones con déficits de humedad en elevaciones más bajas, generalmente se ve un cambio en el grado de estacionalidad a medida que aumenta la elevación, de deciduo o semi-deciduo, a siempreverde.

Otros cambios que se dan con la elevación incluyen: una densidad atmosférica disminuida; radiación solar directa aumentada, particularmente la ultravioleta (que puede ser contrarrestada por nubosidad aumentada); vientos más fuertes; y menos horas de luz solar debido a la cobertura incrementada de las nubes. Estas condiciones relacionadas con la elevación requieren diferentes estrategias de sobrevivencia por parte de las especies presentes: mayor tolerancia a las temperaturas bajas, capas protectoras para reducir la exposición a los rayos ultravioleta, y formas de vida enanas para protegerse mejor contra el viento y la desecación estacional.

El sistema original UNESCO definió los siguientes descriptores altitudinales: Tierras bajas, Submontanas, Montanas, Subalpina y Nube, pero no definió rangos de altitud puesto que éstos varían según la región geográfica. Las condiciones climáticas locales en las regiones montañosas de Centro América son complejas; para fines de clasificación de los ecosistemas en este mapa, necesitábamos crear una nueva zonificación que se adaptara específicamente para América Central. Es más, las regiones Atlántica y Pacífica varían un tanto en sus condiciones climáticas, siendo la región Atlántica una fracción más fresca y húmeda a cualquier altitud. Basado en la experiencia personal de uno de los miembros del equipo (Gómez), se acordó en el taller Las Cruces en Costa Rica adoptar los descriptores altitudinales que aparecen en el Cuadro 3. Estos probablemente necesiten ser validados a través de estudios adicionales.

La designación de un área como perteneciente a la pendiente Atlántica o a la Pacífica es a veces una decisión arbitraria. Las diferencias en zonificación debido a la orientación de las pedientes pueden ser observadas frecuentemente en cordilleras individuales de montañas, independientemente de su distancia real de la costa. La situación es aún más complicada en Guatemala y en Honduras, donde existen bloques montañosos en el interior. Las distinciones son más claras en Costa Rica y Panamá, en donde los países en sí, al igual que sus cordilleras montañosas, son relativamente angostos.

Cambio estacional en la fenología de las comunidades

Un cambio estacional en fenología es causado por el cambio parcial o total de follaje y por el marchitamiento u otros tipos de cambio en la capa herbácea. La estacionalidad también puede ser el resultado de inundaciones estacionales prolongadas.

Cuadro 3. Criterios de Elevación para Clases de Ecosistema

<i>Descriptor de Altitud</i>	<i>Elevación en Metros</i>	
	<i>Pendiente Atlántica</i>	<i>Pendiente del Pacífico</i>
Tierras bajas	0 – 500	0 -700
Submontano	500 – 1,000	700 – 1,200
Montano inferior	1,000 – 1,500	1,200 – 1,800
Montano superior	1,500 – 2,000	1,800 – 2,300
Altimontano	> 2,000	> 2,300

Estos cambios son considerados adaptaciones a cambios climáticos de temperaturas estacionales bajas o secas. El cambio estacional de follaje es considerado un fenómeno ecológico importante. No solamente requiere que las especies sean tolerantes a condiciones más secas; los organismos en un bosque deshojado también están más expuestos a la radiación solar directa y a temperaturas más altas.

Los conjuntos de especies que pueden hacerle frente a estas variaciones estacionales son diferentes de aquellos que viven bajo condiciones de humedad continua. Las especies que pueden sobrevivir a estas condiciones necesitan mecanismos que les faculte sobrevivir a la estación seca, como ser ciclos de vida anuales, tejidos para sobrevivir bajo tierra, capacidad para esconderse durante ciertas estaciones del año, protección epidermal o protección contra la deshidratación, etc.

Los criterios mencionados en el sistema UNESCO para los “bosques tropicales estacionales siempreverdes ” son: (a) la protección del brote y, (b) la reducción parcial del follaje durante la estación seca. La protección del brote, que por lo general es un elemento que aparece en la estación fría, no es la característica más visible de los bosques tropicales estacionales siempreverdes en nuestra región. En América Central, la estacionalidad está relacionada con la sequía. Por ende, las especies de árboles en bosques tropicales estacionales siempreverdes, por lo general, son más resistentes a la sequía que aquellas de bosques tropicales no estacionales; cuentan con adaptaciones como hojas velludas o correosas, y tamaños más pequeños de hojas (véase también Gómez, 1986b). Puede haber una tendencia hacia un mayor cambio de follaje, pero el aspecto global es de permanencia de las hojas durante la estación; esta característica no fue utilizada fácilmente como criterio para la clasificación de los bosques estacionales. En el transcurso de nuestro trabajo en el campo se notó, sin embargo, que los bosques estacionales frecuentemente pueden ser identificados por el marchitamiento de la capa herbácea.

Morfología de la hoja/planta

Las principales categorías reconocidas por UNESCO son la latifoliada, la aciculifoliada, la microlatifoliada, palmeado, bambusoide, graminoide, y forbes. La morfología predominante de la hoja nos proporciona cierta información sobre las condiciones ecológicas, particularmente en el contexto de otros datos. Por ejemplo, los bosques aciculifoliados generalmente son más resistentes al fuego, y pueden proporcionar alguna indicación de quemadas frecuentes. La composición de las especies difiere grandemente entre los bosques latifoliados, aciculifoliados, microlatifoliados y palmeados. En la mayoría de los casos, los bosques tropicales son una combinación de árboles de diferentes tipos de hojas, lo cual no se refleja claramente en las clases UNESCO.

Reflejo de sus orígenes templados y su orientación económica, el sector forestal centroamericano tradicionalmente ha hecho una distinción entre los bosques latifoliados, aciculifoliados, y mixtos. El término “mixto” se reserva exclusivamente para bosques mixtos latifoliados y aciculifoliados, y no toma en cuenta bosques mixtos de otras categorías morfológicas de hojas. El sistema UNESCO sigue esta tradición, lo que en parte es una lástima, puesto que en los trópicos abundan bosques de otras combinaciones de categorías morfológicas de hojas (por ejemplo, latifoliado/palmeado, latifoliado/graminoide, palmeado/graminoide, latifoliado/bambusoide, etc.) Para mantener la consistencia con el sistema UNESCO ampliamente aceptado, este estudio utilizó las mismas definiciones, pero sería conveniente un replanteamiento de las categorías en un futuro.

Drenado

El sistema UNESCO hace referencias frecuentes al factor drenado. De frente a condiciones de drenado pobre y de anegamiento, los organismos y plantas de suelo requieren de mecanismos sofisticados para el intercambio de gas, el escape de condiciones de saturación o de anegamiento, o alguna forma de inactividad estacional. Una inmensa variedad de organismos acuáticos y semi-acuáticos se han adaptado a hábitats estacionalmente anegados o con drenado pobre.

En general, las condiciones de drenado son buenas en terreno accidentado y montañoso, y moderadas en terreno plano pero no anegado. Las condiciones de anegamiento o saturación se anotaron de conformidad con las observaciones en el campo y a partir de los conocimientos de los expertos. Con nuestra escala de trabajo de 1:250,000, hemos rotulado las áreas grandes, así que seguramente dentro de aquellas áreas clasificadas como “bien drenadas” pueden encontrarse parcelas empantanadas o con drenaje pobre.

La situación es más complicada en áreas con poca o ninguna inclinación, las cuales se encuentran mayormente en tierras bajas. Algunas áreas, a pesar de no tener inclinación, deben considerarse “bien drenadas” cuando el tipo de suelo es apropiado.

Áreas “moderamente drenadas” son áreas que ocasionalmente están húmedas o saturadas, pero no anegadas.

Muchos ecologistas distinguen entre pantanos (comunidades leñosas) y ciénagas (comunidades herbáceas). Lamentablemente, el sistema UNESCO no hace ninguna diferenciación entre los dos, y ambos términos, pantano y ciénaga, se utilizan para referirse a formaciones leñosas y herbáceas. Sería conveniente una revisión en el futuro cercano del uso de estos términos en el sistema UNESCO.

En general, la clasificación centroamericana UNESCO es un tanto más específica sobre las condiciones de drenado que la clasificación original UNESCO. Para bosques no anegados, nosotros agregamos el término “moderamente drenados” como una forma de distinguirlos de los bien drenados, pero a un nivel más bajo en la jerarquía. Los autores originales del sistema UNESCO incorporaron esta flexibilidad en el sistema precisamente para facilitar adaptaciones de este tipo.

Suelos

En una escala de 1:250,000, las clases de suelos sólo pueden distinguirse toscamente, así que aportan muy poca información que no esté implícitamente definida por otros factores ecológicos como el drenado o la fisonomía de las plantas. Por lo tanto, como regla general, las clases UNESCO no se amplían para clases de suelo. Sin embargo, hay unos cuantos tipos de suelo que se sabe o se anticipa que estén acompañados por conjuntos o subconjuntos específicos de especies, y que pueden ser valiosos en la clasificación de un ecosistema.

El origen de los suelos puede a veces dar un indicio acerca de su fertilidad. En América Central, los suelos que se originaron a partir de piedra caliza (como en áreas cársticas) así como los suelos volcánicos generalmente son más fértiles que aquellos suelos derivados de otras formaciones geológicas. En principio, los suelos calcáreos son relativamente ricos en nutrientes, químicamente básicos, bien drenados y a veces poco profundos. Estos suelos pueden contener diferentes conjuntos de especies de los oxisoles - suelos profundos, ácidos y desgastados por agentes atmosféricos, típicos de bosques tropicales lluviosos. Sin embargo, en el trópico húmedo, la intemperie, la lixiviación y la acumulación de humus pueden neutralizar fuertemente los efectos del material original. Nosotros encontramos que, por lo general, los suelos o piedras calcáreas proporcionan suficiente fundamento para la distinción de ecosistemas definidos. Por lo tanto, los suelos calcáreos son un criterio distintivo en varias clases, así como lo es “suelos pobres o arenosos” en una clase en Belice.

Otra importante formación de suelos es la turba. Generalmente formada con musgo esfagnal, las formaciones de turba usualmente contienen varios conjuntos de diferentes especies, las cuales son tolerantes a inundaciones prolongadas y a contenidos extremadamente bajos en nutrientes. En la frontera entre Costa Rica y Panamá se encuentran unos “pantanos de ciperáceas altas” con musgo esfagnal. La formación de turba no está explícita en la nomenclatura, pero se menciona en las descripciones.

Muchas otras formaciones de suelo - como los arenosos recientes, ciertas formaciones de barro, y suelos volcánicos recientes - pueden ser indicadores prometedores de clases de ecosistemas. Estos no fueron usados en el mapa actual, pero su utilización podría justificarse en una futura revisión o ampliación del mapa a una escala más fina.

Salinidad

- Las comunidades con niveles elevados de salinidad se enumeran por separado. Estas se dan principalmente, pero no exclusivamente, en ambientes costeros. Las especies resistentes a condiciones salinas elevadas son relativamente escasas, y muchas crecen exclusivamente bajo condiciones salinas. En los trópicos húmedos, las formas de vida leñosas predominan en ambientes costeros salinos donde los mangles son las formaciones más comunes. Los tipos de sabana salina son menos comunes de encontrar. Ejemplos de clases en donde la salinidad es particularmente importante incluyen la “paradera salobre pobre en plantas suculentas” (VE1a(2)) y el “marisma con muchas plantas suculentas” (VE1a(1)).

Áreas sin Vegetación

Los terrenos rasos son raros en América Central, pero hemos incluido las clasificaciones “flujos de lava con escasa vegetación” y “ladera con escasa vegetación” en la Clase de Formación VI. La clasificación original UNESCO no había subdividido explícitamente la Clase de Formación VI para desiertos y áreas con escasa vegetación. Además, las áreas con escasa vegetación también ocurren como extensiones rasas de tierras bajas inundadas con la marea alta en la parte sur del Golfo de Fonseca y, en una escala menor, en Azuero en Panamá. Nosotros identificamos estas áreas como “praderas salobres pobres en plantas suculentas”, salvo cuando son pequeñas en tamaño o entre mareas que no las hemos mapeado. Las rocas marinas e islotes sin vegetación fueron clasificados en esta clase de formación como “rocas marinas con escasa vegetación” (VIAe).

Ecosistemas naturales versus sistemas productivos

En principio, este mapa tiene que ver con los ecosistemas naturales. Sin embargo, prácticamente todos los hábitats naturales en América Central están ocupados o utilizados en alguna medida por personas, y en muchos de los casos resulta difícil hacer una distinción entre hábitats naturales y hábitats convertidos.

El sistema UNESCO está diseñado para ser usado tanto para estructuras vegetales naturales como para las intervenidas. No hace una distinción explícita entre hábitats naturales y hábitats intervenidos por el hombre. Se podría describir perfectamente una plantación de palma de aceite en Honduras con un código UNESCO. Sin embargo, puesto que nuestra intención es que el mapa de ecosistemas sea útil para fines de la conservación de la biodiversidad, sólo utilizamos nuestro sistema para definir

hábitats naturales. A un nivel más detallado de clasificación de la jerarquía, incorporamos descriptores para proporcionarnos información sobre el grado de intervención humana.

En un inicio comenzamos con un criterio de “natural” versus “modificado”, pero al recibir retroalimentación de su uso en el campo, decidimos reconocer tres clases de disturbios para ecosistemas modificados; la clase uno representaba el menor grado de intervención. Estas clases están detalladas en “El Manual de la Base de Datos para el Monitoreo de los Ecosistemas en América Central” (disponible en el sitio web del Banco Mundial). Para *relevés* en el campo, este nivel de detalle es factible, pero para fines de mapeo, redujimos los niveles de intervención a “moderadamente intervenido” (que corresponde a la clase 1 en el Manual), e “intervenido” (que corresponde a las clases 2 a 3).

La clasificación de influencia antropogénica es bastante compleja y tiende a ser subjetiva. Por ejemplo, gran parte de las planicies costeras de Belice y de La Mosquitia en Honduras y Nicaragua están sujetas a quemadas cada pocos años, si no es que a quemadas anuales. Esto resulta en algún grado de supresión del crecimiento del bosque. Sin embargo, con poco o ningún grado de pastoreo en estas áreas, la vegetación tiene una apariencia fuerte y natural, y la vegetación se reproduce espontáneamente después de las quemadas. Estos casos sugieren un nivel 1 de intervención, mientras que en áreas con pastoreo moderado, sería más apropiada una clase 2. Muchos bosques de Pinos del Caribe en Belice y en La Mosquitia que han brotado espontáneamente a partir de semillas son administrados como bosques de producción a través del raleo y tala selectiva. Pero estos bosques mantienen coberturas bien desarrolladas de vegetación y de arbustos, y mantienen características naturales inconfundibles. Bajo estas condiciones, una clase 3 parecería la más apropiada. Los expertos nacionales siguieron los lineamientos generales del Manual para clasificar el grado de intervención, pero pueden darse variaciones de un país a otro en el uso de los términos.

Ecosistemas acuáticos

Si bien se considera que el sistema UNESCO cubre las formaciones predominantemente terrestres, también incluye ecosistemas acuáticos con vegetación. Dentro de las clases de formación I-VI, los términos “anegado”, “ribereño”, y “saturado” se usan para describir ecosistemas húmedos o cubiertos de agua, temporal o aún permanentemente, como en el caso de ciertas formaciones pantanosas. Adicionalmente, el sistema incluye pantanos, ciénagas salobres, sabanas inundadas, pantanos de ciperáceas altas, y otras variaciones.

Adicionalmente, la clase de formación VII, Formaciones de Plantas Acuáticas, engloba sistemas en los cuales el agua cubre el suelo constantemente o durante la mayor parte del año. Esta clase de formación incluye cinco sub-clases de formaciones:

- praderas flotantes
- carrizales
- comunidades flotantes enraizadas

- comunidades sumergidas con raíces^a
- comunidades que flotan libremente en agua dulce

Cada una de estas formaciones tiene un conjunto de especies muy particulares que generalmente ocupan diferentes nichos en un sistema acuático, dependiendo de la claridad del agua, la profundidad, la velocidad del flujo de agua, etc. Varias formaciones pueden darse a poca distancia unas de las otras, y en muchos casos no pueden ser mapeadas en una escala de 1:250,000.

El equipo del proyecto consideró varios sistemas de clasificación (incluyendo Gómez 1984, 1896c; Green et al. 2000), pero finalmente decidimos que las categorías del sistema original UNESCO eran adecuadas para describir los ecosistemas acuáticos con una cobertura distinguible de vegetación sobre, o por debajo de, la superficie del agua. Sin embargo, nosotros procedimos a agregar información al final de la clase para detalles florísticos y/o geográficos.

Formaciones de Agua Abierta

Los ecosistemas de agua abierta que no tienen una cobertura sustancial de vegetación son la única formación en América Central que no están incluidas dentro del sistema UNESCO. Por lo tanto, creamos la clase de formación VIII, “Formaciones de Agua Abierta.” Estas formaciones de agua abierta están predominantemente cubiertas por agua y tienen menos del 10% de su área cubierta por vegetación emergente, flotante o sumergida. En el pie de grabado, los ecosistemas de la clase de formación VIII tienen el código “SA” por “sistema acuático”, pero eventualmente tendrán que volver a codificarse como VIII.

Al desarrollar criterios para usar dentro de estas clase de formación para distinguir aún más entre los tipos de ecosistemas, definimos que la salinidad era la característica más importante. La mayoría de las especies marinas están separadas de las especies límnicas (agua dulce) únicamente por concentraciones más elevadas de sal. Algunas especies están adaptadas para alternar entre los sistemas de agua salina y dulce. Sin embargo, las especies de los sistemas de agua fresca, salina y marina son, por lo general, claramente identificables y por lo tanto el grado de salinidad es considerado el factor más característico de los ecosistemas acuáticos. En la nueva clase de formación, las subclases que se han propuesto son las siguientes:

- ecosistemas límnicos (de agua dulce)
- ecosistemas de agua salobre
- ecosistemas marinos
- lagos salinos y mares cerrados (ausentes en América Central)

Sistemas Límnicos o de Agua Dulce

Estos sistemas continentales lo constituyen típicamente los ríos, lagos y pantanos. Los pantanos leñosos generalmente caen bajo las formaciones I, V o VII. Los

lagos frecuentemente tienen bordes de vegetación que ha emergido y que son clasificados bajo las formaciones V o VII.

Los sistemas límnicos de agua abierta no tienen áreas grandes de vegetación que permitiría su clasificación bajo el sistema UNESCO. Es muy posible que en el futuro, los patrones de distribución de peces puedan proporcionar información para poder distinguir las clases de ecosistemas de agua abierta (véase las Recomendaciones en la Sección 5).

Sistemas Salobres

Esta subclase incluye estuarios - sistemas acuáticos muy dinámicos, con diferentes grados de salobridad. Los estuarios frecuentemente tienen alta sedimentación, baja transparencia, y poca diversidad de especies, pero tienen una alta productividad orgánica. En América Central, la mayor parte de los bancos de lodo están cubiertos con mangles (IA5). Si las tierras bajas inundadas con la marea alta son lo suficientemente extensas, se clasificarían bajo la categoría VIB3, “Albinas desnudas, inundadas por la marea alta”.

En nuestro mapa hicimos una distinción entre estuarios semi-cerrados y abiertos. Retrospectivamente, sin embargo, probablemente no haya ninguna razón ecológica clara para mantener esta distinción.

Ecosistemas Marinos

En el contexto de este trabajo, los hábitats marinos (es decir, aquellas áreas que se encuentran por debajo de la línea de la marea y están permanentemente bajo agua) están divididos en sistemas litorales (hasta una profundidad de 50 metros) y pelágicos (con profundidad de más de 50 metros).⁵ A la usanza tradicional, el término sistemas litorales también incluye aquellas zonas cubiertas por las mareas, que puede incluir playas, ciénagas salobres y manglares, hábitats que hemos colocado bajo las clases V a VII.

Dentro de la zona de los litorales, los suelos marinos pueden ser rocosos, cenagosos, arenosos o cascajosos. Si bien estas características podrían usarse como criterios de clasificación, nosotros no las usamos a la escala de 1:250,000 en este estudio. Algunas áreas tendrán una cobertura de vegetación mayor del 10% y por lo tanto no serían incluidas en la Clase VIII (si bien en la práctica, la mayoría son tan pequeñas que no pueden ser mapeadas excepto a escalas muy finas). En particular, clasificamos las áreas de pasta marina como VIID2a, “Forbias marinas fijas, sumergidas”. Las macroalgas marinas sesiles frecuentemente se dan entre el coral (si bien mucho menos importante que los corales en cobertura), y a veces pueden ser lo suficientemente importantes para ser mapeadas como VIID2b, “Macroalgas marinas fijas sumergidas” (probablemente se necesitarán mayores distinciones para reflejar la presencia de coral en estos ecosistemas).

⁵ A profundidades mayores de 50 metros, la diversidad biológica rápidamente disminuye. La profundidad es muy práctica es una profundidad generalmente marcada en los mapas batimétricos (identificables) y es alrededor de la profundidad máxima que los buceadores pueden descender sin equipo especializado (límites de la técnica investigativa).

A veces, los fondos extendidos de agua pueden estar cubiertos de algas. Esto puede darse en agua dulce o marina, así como en zonas de mareas. Sin embargo, estas condiciones con frecuencia son estacionales y de corta duración. Particularmente en climas templados, estas algas pueden volverse flotantes y convertirse en vegetación que flota libremente. En áreas marinas, éstas pueden mapearse como VIID2c, “Microalgas marinas fijas sumergidas.” El crecimiento de algas es frecuentemente considerado como una indicación de tensión ambiental y, junto con la “decoloración del coral”, pueden funcionar como indicadores biológicos importantes de un ecosistema saludable.

En el transcurso del proyecto de mapeo, se consideraron las formaciones de coral y se llevó a cabo un estudio al respecto, pero al final no fueron mapeadas, salvo en Belice. Esto se debió en parte a la incertidumbre en cuanto a nuestro enfoque metodológico, y en parte a la limitada disponibilidad de especialistas de la región al momento en que el proyecto estaba listo para abordar el tema. Sin embargo, estos ecosistemas son vitales y parte inseparable de la biodiversidad de la región y del país en donde ocurren. Nosotros instamos a que este punto sea discutido nuevamente cuando se lleven a cabo nuevos esfuerzos de mapeo en el futuro (véanse las Recomendaciones en la Sección 5).

2.3 Recopilación de Datos

Adquisición de Imágenes Satelitales

El mapeo de ecosistemas (o vegetación) siempre ha dependido de un vistazo del paisaje a vuelo de pájaro. Hasta finales de los 80, el mapeo de la vegetación se llevaba a cabo casi exclusivamente a partir de fotografías aéreas tomadas a un ángulo de 90° desde un avión. Raramente se tomaban fotografías aéreas para fines de mapeo de vegetación; por lo general, los proyectos dependían de fotografías ya existentes que habían sido tomadas para fines de mapeo topográfico y/o propósitos militares. Esta dependencia constituía una limitación para el mapeo de la vegetación, puesto que el material frecuentemente estaba desactualizado o era clasificado.

Las fotografías aéreas son las imágenes “elevadas” más precisas para el mapeo de ecosistemas. Pueden visualizar mejor la estructura de la vegetación. Las características típicas como la cobertura de los árboles, la morfología de las plantas, y la distribución de las plantas pueden ser vistas de una mejor manera desde fotografías aéreas. Con la ayuda de un estereoscopio, es posible ver las estructuras en estereo y hasta medir la altura del dosel e identificar directamente algunas especies. Pueden ser tomadas en blanco y negro o a color, siendo las primeras más definidas y marcadas, y las segundas muestran más información relacionada con los colores.

La interpretación de las fotografías, sin embargo, es un trabajo intensivo. Son muy costosas, y en algunas regiones son prácticamente imposibles de tomar debido a la cobertura frecuente de nubes, como en el caso de la Cordillera de Talamanca y el Darién. La obtención de conjuntos completos de fotos recientes para todos los siete

países sería casi imposible debido al costo que implicaría y los requerimientos organizacionales para fotografiar por completo el territorio de los siete países desde un avión. La interpretación misma de las fotografías hubiese requerido varios años. Este enfoque está siendo usado con mucho éxito en Costa Rica por INBio para la iniciativa ECOMAPAS a una escala de 1:50,000, pero tomará muchos años más mapear todo el territorio.

El mapeo serio de la vegetación a partir de imágenes satelitales no se convirtió en una opción práctica sino hasta que las imágenes pancromáticas se volvieron ampliamente disponibles a finales de los 80. Las imágenes satelitales pan-cromáticas no muestran la estructura real (fisonomía); más bien muestran diferencias en la estructura geomorfológica y la estructura mosaica entre diferentes tipos de vegetación, lo que permite la interpretación fisonómica y la distribución de formas reconocidas de hábitats. Las imágenes AVHRR que están disponibles sin costo alguno son pan-cromáticas y pueden utilizarse para localizar áreas forestales. Su resolución espacial, sin embargo, es muy burda para el nivel de detalle exigido por este proyecto de mapeo. Pueden ser una ayuda complementaria a cualesquiera otras imágenes para analizar la estacionalidad, pero esto no se ha intentado durante este proyecto.

En Centro América, las imágenes del LANDSAT Thematic Mapper (TM) son las fuentes de datos más comúnmente usadas para el mapeo de áreas grandes. El satélite LANDSAT orbita la tierra en órbitas predefinidas y numeradas, y toma fotografías superpuestas que pueden usarse para formar un mosaico de imágenes satelitales. En fotografías tradicionales, la luz enfocada activa los químicos fotosensitivos que le dan color a la película. Entre más finos son los granos de estos químicos, más precisas son las fotos que se pueden tomar. De igual manera, los satélites toman “fotografías” digitales de la luz solar reflejada por la superficie de la tierra y registran el reflejo de la luz en un fondo fino de bloques, o píxeles. Para facilitar una diversidad de posibles interpretaciones, la luz se registra simultáneamente en siete diferentes bandas, creando así siete “fotografías” con diferentes características de reflejo espectral para una sola “escena” en la cuadrícula LANDSAT. Al separar la luz reflejada, se pueden distinguir las variaciones de color que pasarían inadvertidas en una fotografía regular en base a un patrón mixto de luz. Las imágenes preparadas a partir de combinaciones de las bandas 4, 5 y 3 mejoran enormemente el reconocimiento de formaciones leñosas, las cuales se muestran en diferentes tonos de color café, mientras que las formaciones herbáceas se muestran en tonos de color verde; los suelos escasamente cubiertos (campos arados) pueden aparecer en tonos azulados o en tonos oscuros (corrientes de lava y piedras rasas).

En el transcurso de proyectos anteriores de mapeo para Belice y Honduras a una resolución establecida de 1:250,000, las imágenes del TM del LANDSAT 5, con un tamaño de pixel de 30 x 30 metros, demostraron tener un buen nivel de detalle que permitió un equilibrio entre una precisión ecológica aceptable y el tiempo requerido de producción de alrededor de un año. Las imágenes del LANDSAT TM permiten un mapeo a una escala de 1:100,000 (Carignan, pers. Comm., 1999). Sin embargo, dadas las restricciones de presupuesto y tiempo de producción, aunado a la disponibilidad de

muchos mapas impresos a una escala de 1:250,000, se estimó que el proyecto correría un mayor riesgo si se escogía un nivel mayor de detalle, puesto que se desviaría en gran medida de los mapas topográficos ya existentes de la región.

En términos de costo, las imágenes TM del LANDSAT 5 tenían una gran ventaja: como parte de su contribución a la ayuda de emergencia, el USGS había preparado un conjunto de imágenes del territorio que cubría Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Esto redujo considerablemente los costos de adquisición de las imágenes. En el caso de Costa Rica y Panamá, algunas imágenes fueron proporcionadas por los gobiernos y algunas provenían de la colección privada de D. Muchoney. En caso de ser necesario, comprábamos imágenes adicionales. A continuación los criterios que utilizamos para determinar la conveniencia de utilizar las imágenes que nos habían sido proporcionadas:

- fecha de la imagen
- resolución espacial y espectral
- precisión/exactitud de la ubicación
- condiciones atmosféricas (nubes, neblina)

De hecho, nos vimos en la necesidad de comprar únicamente alrededor de un cuarto de las 39 imágenes requeridas a fin de cubrir todo el área de América Central. En vista de los resultados satisfactorios del uso del LANDSAT 5 TM en proyectos de mapeo anteriores, y de la disponibilidad sin costo alguno de la mayoría de las imágenes, no se tomaron en consideración otros productos creadores de imágenes como el SPOT.

Las imágenes satelitales laser no se basan en el reflejo de la luz, y por ende la cobertura de nubes no constituye un atraso. Muestran diferencias en elevación y pueden reconocerse las demarcaciones definidas de la deforestación. Puesto que no se basan en la luz, no pueden mostrar colores reflejados, lo cual es una gran limitante. No se ha podido demostrar todavía que las imágenes satelitales laser con una resolución de 5m o más muestren suficiente estructura vegetativa, pero la NASA ha preparado imágenes laser tomadas desde un avión que muestran la estructura individual de un árbol. El proyecto CCAD/NASA está experimentando con este tipo de imágenes, pero no están disponibles por el momento para toda la región. Al momento de iniciarse este proyecto, estos materiales todavía estaban en una etapa muy experimental, y por lo tanto no fueron considerados, si bien esta tecnología es muy promisoría.

Para Belice, Guatemala, Honduras y Panamá, las imágenes fueron procesadas en bandas 4, 5, 3, lo que permitió un fuerte contraste entre las áreas boscosas (tonos de café) y las no boscosas (tonos de verde). En retrospectiva, pensamos que éste, de hecho, fue el mejor enfoque, si bien se procesaron mayormente bandas 5, 4, 3 (tonos de verde mayormente) para estos países, a petición de los principales científicos de Nicaragua y Costa Rica.

Green et al. (2000) concluyeron que las imágenes satelitales no son convenientes para el mapeo detallado de hábitats acuáticos, y que las imágenes satelitales son más

apropiadas para el estudio de la geomorfología coral que la biología coral. Las resoluciones espaciales y espectrales combinadas de los sensores satelitales no fueron capaces de distinguir, de manera confiable, los muchos hábitats que tenían un alto grado de similitud (Bray-Curtis Similarity, 60-80%). Esto fue confirmado por la alta variabilidad en la exactitud asociada con clases individuales de hábitats. La pobre separación de los espectros hizo que la clasificación supervisada no pudiese asignar píxeles a las clases apropiadas de hábitats, lo que resultó en errores de asignación grandes y variables. Debe tenerse en mente que el mapeo con resolución fina y descriptiva es un objetivo ambicioso: algunos hábitats arrecifales biológicamente diferentes parecen muy similares aún para el investigador submarino, y sólo pueden ser distinguidos fidedignamente mediante análisis estadísticos de las listas de especies.

Adquisición de Datos Auxiliares

En cada país, visitamos las instituciones más relevantes a fin de solicitar información auxiliar (Cuadro 4). Muchas instituciones tenían información útil, tanto digitalizada como impresa, pero resultó todo un desafío lograr obtener esta información.

En cada país se adquirieron sets completos de mapas topográficos a una escala de 1:250,000, salvo en el caso de Costa Rica, en donde la escala es de 1:200,000. En muchos países, se adquirieron juegos completos o parciales a una escala de 1:50,000. El proyecto adquirió los juegos de mapas de aviación y de navegación del USGS a una escala de 1:500,000 para toda la región. Estos materiales fueron posteriormente entregados a las instituciones participantes de cada país.

En principio, existe información auxiliar digital disponible de varias fuentes. Ciertos datos topográficos básicos, como carreteras, ciudades, bordes de playa, etc. pueden obtenerse en formato digital del USGS (es decir, en Modelo de Elevación Digital), así como de instituciones geográficas nacionales y de algunos laboratorios nacionales SIG. Sin embargo, encontramos que las imágenes LANDSAT y los mapas topográficos escaneados que estaban disponibles eran mucho más precisos, y por lo tanto preferimos utilizarlos. Datos generales sobre suelos, tomados de los inventarios globales de la FAO de los años 70, deberían estar a la disposición de los países, pero no siempre los encontramos.

Obviamente, los esfuerzos que se han llevado a cabo en el pasado en relación al mapeo de vegetación, con o sin el uso de sensores remotos (*remote sensing*), son asimismo buenas fuentes de información. Sin embargo, a pesar del valor que tienen estos datos y mapas desde una perspectiva histórica, en la mayoría de los casos estos esfuerzos de mapeo fueron el resultado de extrapolaciones de cortes transversales terrestres. Además, por lo general, su nivel de detalle no se acercaba al nivel del mapa actual, y sistemas aparentemente equivalentes de descripciones amplias tienden a incorporar varias clases del mapa actual, y por lo tanto su distribución y tamaño no son comparables con el mapa actual. Algunas excepciones dignas de mencionarse son los mapas de cobertura vegetal natural hechos por Wright et al. (1959) y por Gómez (1986),

los cuales produjeron mapas altamente detallados a partir de visitas al campo y fotografías aéreas.

Adicionalmente, se usaron diferentes sets de datos/mapas auxiliares en cada país, de conformidad con su disponibilidad y utilidad para los equipos nacionales en términos de la incorporación de datos ecológicos o físicos como determinantes adicionales de los ecosistemas. En la mayoría de los países, éstos incluyeron mapas de precipitación, mapas de temperaturas, mapas geológicos, y distintos mapas de suelos.

Selección y Adaptación de la Base de Datos de la Universidad de Boston

Un mapa de ecosistemas muestra polígonos bien definidos y debidamente rotulados. Cualquier sistema de clasificación, sin embargo, tiende a ser arbitrario en el sentido que refleja los prejuicios de sus autores así como las imperfecciones y errores inherentes a cualquier mapa y a cualquier sistema de clasificación.

Se ha argumentado de manera bastante convincente por parte de Douglas Muchoney y otros que, de hecho y en cierto sentido, los datos más útiles no son los mapas sino los datos recogidos en el campo para puntos de verificación en el campo. Estos datos consisten de descriptores bastante objetivos de las características ecológicas y físicas del sitio. Si estos datos se definen, recopilan y almacenan apropiadamente, deben permitir al usuario pasar por alto la necesidad de un “mapa de ecosistemas” previamente definido, para generar más bien un mapa que tome en cuenta aquellas características que sean de interés particular para la clasificación que en realidad se necesite.

Por esta razón, el uso de una base de datos con información obtenida del campo es un elemento extremadamente importante de este proyecto. Se recopilaron cerca de 2,000 puntos de datos en el campo (ver abajo), y creemos que esta base de datos constituye un apuntalamiento sumamente importante para el mapa de ecosistemas; de mantenerse y expandirse, deberá servir, en última instancia, para reemplazar la necesidad de un mapa estático.

Un gran problema para el intercambio de datos, mucho más grande que el problema causado por la incompatibilidad del software usado para almacenar los datos, lo constituye la incompatibilidad del registro de los datos (las clases utilizadas, los métodos de recolección de datos, etc.) El proyecto ha dedicado gran parte de sus esfuerzos en decidir qué información recopilar del campo. Comenzamos con el diseño del “STEP” formulado por la Universidad de Boston (Muchoney et al. 1998) y lo probamos extensamente con los científicos participantes en el campo. Se consultaron varios científicos internacionales de renombre (Prof. R.A.A. Oldeman, PhD. de la Universidad Wageningen; el Prof. A. Cleef, Ph.D de la Universidad de Ámsterdam; y el Dr. H. van Gils, *International Training Center*).

La retroalimentación recibida de la mayoría de los científicos participantes y aquellos que fueron consultados resultó en la modificación de la base de datos. Del

modelo STEP conservamos los parámetros paisajistas terrestres para el análisis de los datos obtenidos por sensores remotos a resoluciones espaciales altas (Landsat TM, MSS y SPOT), y para los datos para la caracterización regional y global, usando datos de resolución moderada como el AVHRR, MODIS y SPOT-Vegetation. Para este propósito, incluye muchos nuevos campos para la incorporación de parámetros ecológicos, biogeofísicos y de población que pueden ser medidos fidedignamente o inferidos a partir de datos obtenidos por los sensores remotos, datos colaterales y datos de *relevé*. Es más, el método STEP proporciona el fundamento para unaparametrización sistemática y compatibilidad SIG. Los juegos de datos nos permitieron caracterizar eficientemente cualquier clase de ecosistema – terrestre o acuático – dentro de la región.

Verificación en el Campo

El trabajo en el campo es la parte medular de un proyecto de mapeo. El cartógrafo debe saber y entender muy bien lo que va reflejar en el mapa. Para el proyecto de mapeo en cuestión, este conocimiento provino de los muchos años de experiencia en el campo de cada científico participante. Tenían asimismo la capacidad de analizar imágenes captadas con sensores remotos y luego hacer una primera y razonablemente buena evaluación del tipo de ecosistema en las diferentes partes del país. Esto les permitió dibujar polígonos en imágenes impresas o en la pantalla de la computadora, y clasificarlos. También requirió que ellos sistematizaran su conocimiento, porque mostraba cuáles áreas conocían bien, y cuáles áreas les eran virtualmente desconocidas.

Selección de los Relevés

Teóricamente, si uno escoge al azar las ubicaciones en el campo o *relevés*, eventualmente se tendrán suficientes registros que proporcionen una clasificación estadísticamente correcta. Sin embargo, el trabajo en el campo es la actividad más costosa y más difícil de organizar en un proyecto de mapeo de ecosistemas. El enfoque de muestreo al azar requiere un gran número de muestras de cada tipo de polígono, y por lo general es demasiado costoso y consume demasiado tiempo. Este enfoque fue el escogido por el equipo hondureño, pero en todos los demás países los equipos nacionales optaron por la pre-selección dirigida de áreas para hacer las visitas de campo.

En general, los *relevés* fueron seleccionados en base a los siguientes criterios:

- conocimiento insuficiente de la región
- dudas acerca de la clasificación en la imagen
- representatividad (preferiblemente, cada clase reconocida fue visitada en tres diferentes sitios)
- irregularidades observadas desde el aire
- accesibilidad
- aprovechamiento de una buena oportunidad ³

³ Por ejemplo, las Fuerzas Armadas de Honduras ocasionalmente ofrecieron transporte por helicóptero.

- consideraciones de tiempo y costo (viajar por tierra es generalmente mucho más económico que viajar por agua o por helicóptero, y mucho más rápido que viajar a pie)

Cuadro 4. Instituciones Consultadas

<i>País</i>	<i>Institución</i>
Belice	Forest Department Programme for Belize Land Information Center WICE –Belice Belize Environmental Consultancies Base de datos de biodiversidad del Wildlife Conservation Society Environmental, Social and Technical Assistance Project Fisheries Department
Guatemala	INAB Instituto Geográfico Nacional Universidad de San Carlos
El Salvador	MARN Escuela de Biología, Universidad de El Salvador
Honduras	Departamento de Areas Protegidas y Vida Silvestre Universidad Nacional Autónoma
Nicaragua	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) Universidad Centroamericana
Costa Rica	Para Costa Rica, el proyecto consistió en la actualización de un esfuerzo de mapeo que databa de hace varios años. En este contexto, varias instituciones han sido consultadas en el transcurso de los años.
Panamá	Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia Smithsonian Tropical Research Institute El Herbario de la Biblioteca Simón Bolívar de la Universidad de Panamá La Biblioteca de la Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON) La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) La Autoridad del Canal de Panamá La Biblioteca de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) La Biblioteca del Instituto Conmemorativo Gorgas La Biblioteca del Departamento de Gestión Ambiental de la Autoridad de la Región Interoceánica (ARI) International Training Center
Los Países Bajos	Hugo de Vries Laboratory of the University of Amsterdam Library of the Agricultural University of Wageningen Library of the Faculty of Plant Systematics of the University of Utrecht

Los datos recopilados y la metodología seguida en el campo se describen en el Manual de la Base de Datos, disponible en el sitio web del Banco Mundial. Tanto el tamaño como la forma de los *relevés* fueron diseñados para un análisis relativamente rápido en el campo. En todos los países salvo Nicaragua, usamos un círculo con un radio de 25m (un área de alrededor de 1,960m²). En Nicaragua, se utilizaron parcelas rectangulares de 25m x 200m (5,000m²). Se instruyó a los investigadores que se adentraran en el área representada por el polígono, en busca de las condiciones representativas de ese polígono y de esa clase de ecosistema. Se tomaron lecturas GPS con unidades Garmin 12 GPS sin una estación de base a fin de corregir errores intencionales introducidos por la NASA en 1990. Sin estas correcciones, las unidades tienen una precisión de 100m al aire libre, si bien las lecturas tomadas en posiciones conocidas generalmente eran más exactas. En los bosques, las lecturas son mucho menos precisas o imposibles de tomar. Cuando era imposible tomar una lectura, se tomaba una en el claro más cercano, y de allí se estimaron las posiciones a pie.

A los equipos se les dió instrucciones de concentrarse en especies leñosas y de no dedicarle más de dos horas a cada *relevé*. Se tomaban muestras de especies desconocidas de árboles y se identificaban posteriormente, generalmente en el herbario nacional. En la región en su conjunto, miles de muestras fueron tomadas y conservadas en los herbarios nacionales, y en muchos casos ésto ha resultado en extensiones de rango y en algunos nuevos informes para algunos países.

Las visitas al campo se hicieron en vehículo de transmisión en las cuatro ruedas. En Honduras y en Nicaragua, las muestras en áreas de difícil acceso fueron tomadas desde un helicóptero o desde botes.

Registro de los Datos

Se diseñaron formatos impresos para llevar al campo a fin de que los datos generales del *relevé* pudieran caber en una página, mientras que la información relativa a las especies pudiera ajustarse en la parte de atrás de la misma hoja, manteniendo así toda la información junta. Esto evita el riesgo de poder confundir los datos.

El formato para el campo es la versión impresa de la base de datos que almacena sistemáticamente las observaciones en el campo y permite su análisis posterior. Los datos del formato para el campo se almacenan en una base de datos Microsoft Access, “amigable” y de amplia distribución. El formato para el campo y la base de datos pueden ser descargadas del sitio <http://www.worldbank.org/ca-env>. Al formalizar los datos en la base de datos en armonía con el SIG del mapa de los ecosistemas, los usuarios pueden usar tanto la base de datos como el software del SIG para extraer

información de interés. Los datos en la base de datos pueden ser usados sin el programa SIG.

Estudios Aéreos

Los estudios aéreos son una parte esencial del proceso de mapeo de los ecosistemas. Los vuelos fueron planificados para cubrir todas las clases principales pre-identificadas en los polígonos, las áreas de difícil acceso, y las áreas poco conocidas por los científicos participantes. En cada país, los estudios aéreos se llevaron a cabo desde avionetas con alas altas, generalmente a una altitud de unos 300 metros. La velocidad usualmente oscilaba entre los 175 y los 210 km/hora, dependiendo del avión y de las condiciones climáticas. En aquellos casos en que era necesario examinar detalles específicos, el avión sobrevolaba a una altura más baja.

Los vuelos generalmente los llevaban a cabo los botánicos principales y los analistas de imágenes (que usualmente eran la misma persona). El Coordinador Técnico, Daan Vreugdenhil, participó en varios de los sobrevuelos en todos los países centroamericanos, con excepción de Costa Rica y El Salvador. Su participación en todos menos dos de los programas de vuelo permitió la estandarización del enfoque usado entre países. El Cuadro 5 indica el número total de horas de vuelo por país, con los nombres de los principales participantes. No todos los investigadores participaron en todos los vuelos en su respectivo país.

En la mayoría de los países se tomaron fotografías oblicuas de lugares de interés, pero con frecuencia no era posible establecer posiciones GPS precisas desde el avión. Las fotos generalmente se tomaban sin las lecturas GPS, y luego eran ubicadas en los mapas topográficos. En Panamá, el equipo instaló una grabadora de videos en la parte trasera del avión que grababa el paisaje de lado, mientras tomaba posiciones GPS en tiempo real. Este resultó ser un método extremadamente valioso. Cuando se pasaron los videos, se podía visualizar claramente el análisis de la estructura de la vegetación en la pantalla de la televisión. En un principio la mayor parte de los equipos pensaba que los sobrevuelos de verificación desde aeronaves con alas fijas no era lo más idóneo, pero una vez que el programa finalizó, hubo un consenso general en cuanto a que era un enfoque muy realista, dado el costo/beneficio positivo que arrojó dicho método.

En Honduras y en Nicaragua se utilizaron helicópteros y aviones con alas fijas para facilitar los esfuerzos combinados de verificación y logística para el análisis de los *relevés* en lugares muy inaccesibles.

Cuadro 5. Sobrevuelos de Verificación al Campo

<i>País</i>	<i>Participantes Principales</i>	<i>Total Horas de Vuelo</i>
Belice	Susan Iremonger Jan Meerman Daan Vreugdenhil	16
Guatemala	César Castañeda Juan José Castillo, Mauricio Castro, Daan Vreugdenhil	20
El Salvador	Raúl Villacorta Noehmi Ventura	5
Honduras	Susan Iremonger Daan Vreugdenhil Carlos Cerrato Thelma Mejía Cristóbal Vásquez	22
Nicaragua	Alain Meyrat Daan Vreugdenhil, Alfredo Grijalva	16
Costa Rica	Luis Diego Gómez	8
Panamá	Maria Stapf Boris Gómez, Daan Vreugdenhil	15

2.4 Procesamiento de Datos

Preparación de Mapas de Base

En las fases iniciales del proyecto, se tomó la decisión de continuar usando la escala de los mapas topográficos ya existentes en cada uno de los países: 1:250,000 para Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá, y 1:200,000 para Costa Rica. Cada país empleó sus propias normas nacionales de proyección, que difieren de país a país.

Si bien se proporcionó georeferenciamiento básico para muchas imágenes, se requirió georeferenciamiento más preciso en cada país para fines de sincronización con otras imágenes y mapas topográficos. Los metadatos proporcionados con los archivos de los mapas brindan información técnica más detallada.

Un conjunto adicional de imágenes fue preparado en Projection UTM, Zone 15, Elipsoide Clarke 1866, Datum Nad 27, bandas 4, 5 y 3, a fin de que los usuarios experimentados pudiesen proyectar el mapa completo contra el fondo de imágenes

usadas en el proyecto. El georeferenciamiento consistió básicamente en escoger puntos de referencia en la imagen (camino transversales, curvas fijas de ríos, peñascos costeros, etc) y definir una línea regresiva polinomial de primer grado para optimizar el ajuste escénico. Se usaron entre 15 y 20 puntos de referencia igualmente distribuidos para cada escena.

Digitalizando Polígonos

Es posible trazar mapas directamente en la pantalla del computador mediante la digitalización precisa de líneas sobre una imagen. Sin embargo, las pantallas de las computadoras tamaño estándar todavía son relativamente pequeñas y no permiten una vista detallada de una imagen en su totalidad, que generalmente es lo deseable durante la interpretación de una imagen. Un analista de imágenes experimentado también puede tener software computacional que distinga entre las similitudes en los patrones de píxeles y por ende puede preparar una distinción de clases a partir de la computadora: lo que llamamos una “clasificación supervisada.”

Sin embargo, algunos analistas experimentados en vegetación (van Gils, pers. Comm; Iremonger 1997, and pers.comm.) expresaron dudas acerca de la exactitud de dicho método para un mapeo detallado. Su temor era que muchas clases aparecieran en mosaicos mixtos (“sal y pimienta”), en donde la interpretación humana siempre sería necesaria para escoger la forma de los polígonos⁴ y su clasificación. La supervisión clasificada de ecosistemas no se utilizó en este proyecto puesto que no se esperaba que pudiera proporcionar el nivel deseado de precisión.

El proyecto intentó involucrar al mayor número posible de científicos de las universidades de los países participantes. Facilitó la participación de científicos capacitados y no capacitados en SIG al trabajar primordialmente a partir de imágenes satelitales impresas a una escala de 1:250,000, en hojas de 36 x 36 pulgadas. Con este tamaño, cuatro científicos podían trabajar simultáneamente en una imagen, permitiendo el diálogo y el intercambio de experiencias (sin las barreras que a veces se crean por los diferentes niveles de habilidades computacionales entre un especialista en SIG y un biólogo en el campo). El uso de imágenes impresas ha estimulado grandemente el interés y el involucramiento de un buen número de científicos. A medida que las personas comenzaron a aprender y a apreciar el uso de las imágenes, se generó un deseo de participar e involucrarse aún más en análisis computacionales adicionales. Algunos participantes adquirieron habilidades de mapeo al trabajar en la pantalla; unos cuantos trabajaron con la clasificación supervisada. Sin embargo, el ejercicio primario de mapeo tuvo lugar sobre la base de análisis de imágenes impresas con la participación de biólogos en el campo, muchos de los cuales tienen más de 15 años de experiencia en su campo. En El Salvador, el análisis de las imágenes se llevó a cabo directamente sobre la pantalla.

⁴ Los polígonos son unidades espaciales de mapas con color y textura específicas, que las diferencian de unidades adyacentes de mapas.

Las imágenes adquiridas permitieron la identificación de parcelas más o menos homogéneas de paisajes, las cuales pueden ser mapeadas como polígonos sobre material transparente como el mylar o el acetato. El papel mylar no cambia de tamaño con la temperatura, pero no es muy transparente. El papel acetato, en cambio, es bastante transparente pero se expande a medida que sube la temperatura. La temperatura se eleva mientras se dibuja con la mano y cuando se analiza la imagen bajo las lámparas de una mesa alumbrada. Nos dimos cuenta que los beneficios de una mayor transparencia del acetato tienen mayor peso que una expansión menor a temperaturas más elevadas. En Costa Rica, sin embargo, se usó mayormente papel mylar. En muchos casos, la iluminación para las imágenes provenía de las lámparas elevadas y de las mesas transparentes e iluminadas.

Algunos analistas han sugerido trabajar directamente sobre impresiones plastificadas. Sin embargo, como se necesitan varias imágenes para las fronteras que se superponen y para las líneas de elevación en los mapas topográficos, se hacen necesarias las transparencias para transferir los polígonos trazados de una fuente (imagen) a otra (mapas topográficos y temáticos). Debe evitarse trabajar directamente sobre el papel impreso, ya que no siempre se presta para borrar y hacer correcciones.

Las unidades más o menos homogéneas (polígonos) se dibujaron a mano sobre los acetatos con los marcadores más finos que pudieron encontrarse (a prueba de agua y solubles en alcohol). Por razones de la escala (1:250,000) y de legibilidad, las áreas menores de 150 hectáreas no se representaron en el mapa final. Luego de que los polígonos fueron dibujados inicialmente sobre la base de las imágenes satelitales, se identificaron polígonos adicionales de ecosistemas y/o se ajustaron con la ayuda de información auxiliar, análisis en el campo, y vuelos de reconocimiento.

Una vez que los mapas dibujados a mano sobre acetatos estuvieron terminados, fueron digitalizados utilizando diferentes programas computarizados. Los archivos finales de los mapas se produjeron luego de un proceso reiterativo de visitas al campo, sobrevuelos de reconocimiento, revisión de las imágenes y adaptaciones a los archivos SIG sobre las imágenes, así como de los mapas dibujados a mano sobre acetatos. Donde hubo necesidad, los archivos fueron convertidos a archivos ARCVIEW.

Integración en un Solo Mapa Regional

La siguiente sección sobre la integración de los datos en un solo mapa regional está basada en un texto contribuido por el Dr. Jeffrey Jones, Director del Laboratorio SIG del CATIE.

El procesamiento que se llevó a cabo en el laboratorio SIG del CATIE se dividió en cuatro distintas actividades:

- 1) importación y registro de las imágenes
- 2) integración de los vectores de los países
- 3) establecimiento de una proyección común

- 4) creación del conjunto de mapas a escala de 1:250,000.

Importación y registro de las imágenes

De la colección de 161 imágenes contenidas en los CD-Roms y proporcionadas por los participantes en el proyecto, se seleccionó un conjunto de imágenes que cubría todo el istmo centroamericano. En algunos casos, se hizo necesaria una imagen adicional cuando alguna de las que habían sido escogidas tenía una cobertura de nubes. Cada imagen fue registrada directamente a partir de los mapas topográficos. En muchos casos, se usaron hojas topográficas a escala de 1:50,000 de los archivos del laboratorio del CATIE, y si no estaban disponibles, se usaron mapas de navegación aeronáutica para la región, a una escala de 1:500,000.

Esta actividad tenía doble propósito. En primer lugar, el conjunto de imágenes se documentaba para ponerlas luego a la disposición de la comunidad centroamericana de investigadores para futuros trabajos de mapeo. Un segundo propósito era la creación de conjuntos de imágenes de país a ser distribuidos con el Mapa Final de los Ecosistemas, en CD-Rom. Para que esta actividad fuese factible, las imágenes fueron degradadas a una resolución de 240m/pixel, de modo que los mosaicos completados oscilaran entre 20MB y 80 MB cada uno. Si bien a estas imágenes degradadas les falta resolución, proporcionan una guía para poder ver los archivos completos de los ecosistemas, los cuales ayudan a los investigadores experimentados a orientarse.⁸

Cuadro 6. Programas SIG Utilizados

<i>País</i>	<i>Procesamiento de Imágenes</i>	<i>Digitalización</i>
Belice	ERDAS	ArcView
Guatemala	PCI	ArcView
El Salvador	ILWIS	ILWIS
Honduras	ERDAS	ArcInfo
Nicaragua	PCI, ERDAS	ArcInfo
Costa Rica	ILWIS	ILWIS
Panamá	PCI	ArcView

Integración de los estratos de vectores de los países

Puesto que la mayoría de los archivos de mapas nacionales fueron entregados en Arcview shapefiles, los problemas relacionados con la traslación de datos fueron mínimos. Sólo los de Costa Rica y El Salvador fueron digitalizados originalmente en ILWIS, pero la conversión de los archivos no causó ningún problema. Los problemas que se dieron en la integración de estratos fueron de una naturaleza diferente:

- 1) la coordinación de los pies de grabado de los diferentes países
- 2) la conversión de proyecciones semi-documentadas a una proyección común
- 3) la compatibilización de los límites fronterizos en términos de límites nacionales y la continuidad de la vegetación

Coordinación de los pie de grabados

Al inicio del proyecto, antes de que se viera involucrado el CATIE, todos los equipos de países acordaron una metodología para la descripción de los ecosistemas. Este método estaba basado en la clasificación UNESCO. Siendo un sistema jerárquico, la clasificación UNESCO permite la posibilidad de adicionar categorías según se presente la necesidad. Sin embargo, como resultado de esta decisión, cada país podía introducir nuevas categorías de vegetación de conformidad con sus propias necesidades. Por lo tanto, a pesar de los múltiples esfuerzos por coordinar el trabajo entre los países, cada mapa de país tiene un pie de grabado independiente, con algunos elementos comunes, pero también con algunas clases únicas e inconfundibles. Estos temas fueron discutidos en una reunión en Managua en el mes de noviembre del 2000.

Después de noviembre del 2000, la edición de todos los pie de grabado se hizo directamente en el mapa regional. Los polígonos fueron alterados, los códigos fueron modificados, y las categorías de pie de grabado fueron subdivididas, pero únicamente en el mapa regional. Si se desarrollaba una nueva categoría para un país en particular, el mapa original no era actualizado. Este detalle se menciona para explicar la posibilidad de que existan ciertas incompatibilidades entre el mapa regional, los mapas de país derivados del mapa regional, y los mapas nacionales.

Conversión de proyecciones semi-documentados a una proyección común

En América Central, cada país ha desarrollado su propia proyección oficial. Estas proyecciones se reflejan de manera oficial en los conjuntos de mapas cartográficos de cada país.

En años recientes han habido cambios en los sistemas cartográficos de los países con la introducción de nuevos conjuntos de mapas con pequeñas variaciones en los detalles de proyección. En la mayoría de los casos, los equipos de país no documentaron suficientemente bien las proyecciones utilizadas.

Cuadro 7. Proyecciones utilizadas en el Mapeo de Ecosistemas

<i>País</i>	<i>Proyección</i>
Belice	datos derivados del UTM 16, NAD27
Guatemala	datos derivados del UTM 15, NAD27
El Salvador	datos derivados del Lambert, NAD27
Honduras	datos derivados del UTM 16, NAD27
Nicaragua	datos derivados del UTM 16, NAD27
Costa Rica	datos derivados del Lambert, Ocatepeque
Panamá	datos derivados del UTM 17, NAD27

Como resultado, el ajuste final y la conversión de los mapas nacionales de ecosistemas a proyecciones regionales, y la coordinación de las fronteras nacionales y países adyacentes requirió un cierto número de investigaciones y de pruebas para lograr

la mejor correspondencia de datos, así como la más consistente. Debe hacerse notar que el error típico encontrado en estos ajustes era de entre 200 y 500 metros, errores muy típicos de un mapeo a escala de 1:250,000. Si bien estos valores eran marginalmente aceptables por sí mismos, se volvieron bastante visibles al ser yuxtapuestos con los polígonos y fronteras de países adyacentes.

Compatibilizando fronteras en términos de límites nacionales y la continuidad de la vegetación

Otro desafío relacionado con la integración de los mapas nacionales lo constituyó la creación de definiciones fronterizas compatibles / aceptables. Este problema tiene dos elementos: la ubicación de la frontera en sí, y la continuidad de los patrones de vegetación de un lado de la frontera al otro.

En el caso de las ubicaciones de las fronteras, se hizo una edición final para resolver los errores más obvios, que en muchos casos eran simplemente cuestión de determinar el año en que la ribera de un río fue establecida como frontera. Por ejemplo, si el curso de un río había variado, y los países adyacentes habían usado las riberas de los ríos de diferentes años, aparecía entonces una alerta de “error” en pantalla, aún cuando la ubicación actual de la frontera estaba clara. En el caso de Guatemala y de Belice, por ejemplo, los bancos de arena que aparecían en el Río Sarstun fueron mapeados como parte de ambos países. En algunos países la definición de las fronteras nacionales fue problemática en vista de las disputas fronterizas entre ambos países. El mapa regional de América Central fue usado como arbitrador siempre que fue posible, si bien al final una simple línea fue trazada como indicador de una zona fronteriza.

Está de más decir que en este proyecto, las indicaciones de fronteras entre diferentes países no se ha hecho con el fin de justificar o apoyar uno u otro reclamo de los países involucrados, y no indica ni aceptación ni apoyo a ningún reclamo específico por parte de la CATIE, del CCAD o del Banco Mundial.

Los problemas en relación a la discontinuidad de la vegetación surgieron por el uso de imágenes con cobertura de nubes o imágenes con diferentes fechas en países adyacentes. Las áreas con cobertura de nubes se interpretan con la mejor información disponible y a partir de la interpretación conjunta del equipo de país. Originalmente, el trabajo de integración de límites de vegetación a lo largo de fronteras se llevó a cabo en consulta con los equipos de los países interesados. El mapa integrado resultante fue impreso por MARENA para una reunión regional en Managua, Nicaragua, en noviembre del 2000, cuando los diferentes equipos de países se reunieron para acordar fronteras consistentes así como la nomenclatura de los polígonos. Una vez acordadas estas correcciones, los mapas regionales y nacionales fueron editados para reflejar estos cambios.

Establecimiento de una proyección común para el Mapa Regional de Ecosistemas

La creación de un Mapa Regional de Ecosistemas nos obligó a confrontar un problema que data de hace muchos años y que afecta al istmo centroamericano y al proceso de integración centroamericana. Si la región va a presentarse en un solo mapa, ¿cuál proyección debe utilizarse?

Las proyecciones en un mapa reflejan transformaciones de datos de un ámbito esférico a un papel plano, un proceso que inevitablemente introduce ciertas distorsiones en el mapa final. La selección de una proyección cartográfica depende de los objetivos del uso del mapa final, y de la evaluación de la distorsión más aceptable. En el caso del Mapa de Ecosistemas, se determinó que el criterio principal para la selección de la proyección era el de “igualdad de áreas” (*equal area*), lo que implica la minimización de la distorsión en áreas entre las diferentes partes del mapa. Esta característica permite la comparación del tamaño de los diferentes ecosistemas entre diferentes países, con el propósito de determinar cuántas hectáreas existen de un ecosistema en particular, cuántas están protegidas, y en qué países.

En octubre del 2000, se transmitió una solicitud formal a todos los jefes de los institutos geográficos de los siete países. Se recogieron varias sugerencias, incluyendo el uso de una proyección definida por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) en el mapa regional reciente. Lamentablemente, durante la creación del mapa regional, el presidente del grupo centroamericano del IPGH opinó que el uso de esa proyección sin permiso expreso del IPGH no era aconsejable.

La proyección que finalmente fue seleccionada fue la Lambert Azimuthal, focalizada en 85° longitud oeste y 13° latitud norte, en el centro geográfico de Centro América (este punto se encuentra dentro de Nicaragua). Para mantener las coordenadas positivas, se incorporó una corrección de 5 millonésimas de metro como un este falso y un norte falso.

Creación del mapa a escala 1:250,000

El objetivo general del proyecto de Mapeo de los Ecosistemas de Centro América fue la creación de un mapa regional a una escala de 1:250,000. La presentación de todo el conjunto de mapas en papel requiere que el mapa global sea dividido en varios mapas individuales.

La cuadrícula inicial para la creación de los mapas individuales se definió arbitrariamente sobre la base del tamaño de los mapas finales. Las fronteras de los mapas individuales se ajustaron posteriormente para evitar incluir mapas vacíos con pequeños islotes de datos en un marco en blanco. La cuadrícula inicial de 1:250,000 incluía 56 hojas de mapas, pero con los ajustes en las fronteras y la eliminación de coberturas superfluas, la serie de mapas se redujo a 43, como se muestra en la Figura 2.

El mapa completado fue luego seccionado en rectángulos correspondientes a las 43 hojas de mapas, e insertados en el marco de documentación del conjunto a escala 1:250,000, y salvado en archivos con formato de Windows Metafile. Esto permite la

distribución electrónica de toda la serie de mapas, y evita el costo de tener que reproducir series completas en aquellos casos en que el usuario quiera únicamente la cobertura de un país en particular. El archivo completo del mapa regional y los 43 mapas separados están disponibles en el sitio web del Banco Mundial (de hecho están almacenados en los servidores de EROS, cortesía del USGS).

Es de hacer notar, sin embargo, que las hojas individuales de mapas no siempre serán apropiadas para el trabajo que se generará en los países individuales. Puesto que están basados en una proyección regional (como se describiera anteriormente), por definición están en una proyección distinta a cualquier mapa usado a nivel nacional. Esto significa, por ejemplo, que es imposible sobreponerlos en un mapa topográfico nacional con absoluta precisión. Para hacerlo, sería preferible volver a proyectar partes del mapa regional usando proyecciones nacionales.

3. Resultados

Los principales resultados de este proyecto de mapeo son los siguientes:

- un consenso regional sobre la metodología a seguir
- imágenes satelitales procesadas y georeferenciadas usadas en el transcurso del proyecto
- archivos vectores SIG de los mapas de los ecosistemas de cada uno de los siete países, así como un mapa regional, con nomenclatura coordinada de las clasificaciones
- descripciones de los ecosistemas con buenos antecedentes biológicos
- una base de datos en MS Access con los datos recopilados en el campo en el contexto de este proyecto
- la expansión de varios herbarios nacionales con varios miles de especímenes
- la capacitación de los científicos principales de las comunidades científicas ecológicas de cada uno de los países participantes
- un informe final, en español y en inglés, y un mapa final integrado.

Se reconocieron un total de 197 clases de ecosistemas en el contexto de este estudio (incluyendo ecosistemas agrícolas y urbanos). Se han definido alrededor de 25 códigos adicionales, usando modificadores para niveles de intervención humana, pero éstos no representan clases inconfundibles de ecosistemas per se.

3.1 Resultados por País

Cada país fue mapeado por un equipo diferente, utilizando enfoques, estándares nacionales y preferencias un tanto distintos. Las siguientes subsecciones de este estudio examinan los resultados para cada país y las diferencias entre los países. Es de hacer notar que los informes nacionales a los cuales nos referimos pueden encontrarse en los sitios web del Banco Mundial o del WICE, en forma condensada.

Belice

Un informe global y detallado para Belice fue preparado por el equipo beliceño (Merman y Sabido 1991).

Mapeos anteriores

Ya existían dos mapas nacionales de vegetación para Belice: Wright et al. (1959), e Iremonger y Brokaw (1995). El “Mapa de Vegetación Natural” preparado por Wright et al. fue un esfuerzo bastante detallado de mapear todas las clases de vegetación natural en una escala de 1:250,000. El mapeo fue preparado en base a fotografías aéreas y observaciones terrestres extensivas; incorporaba la vegetación natural pero no cubría los sistemas productivos (áreas con menos del 50% de cobertura de vegetación natural). La clasificación fue primordialmente de tipo fisonómico pero contenía algunos elementos florísticos.

El mapa de vegetación y el sistema de clasificación de Iremonger y Brokaw se basó en gran medida en el mapa de Wright. Sin embargo, su mapa reconocía áreas deforestadas con regeneración espontánea de vegetación, e introdujo una forma muy liberal de la clasificación UNESCO. Iremonger y Brokaw pasaron seis semanas cada uno viajando por el país por tierra, mientras otros biólogos llevaban a cabo algunas verificaciones adicionales en el campo. No existe información cuantitativa del trabajo de campo llevado a cabo por Wright.

Ambos productos fueron la base del proyecto actual de mapeo, y el equipo se concentró mayormente en revisar y actualizar el trabajo de Iremonger y Brokaw. Se procedió a compatibilizar su clasificación con la del proyecto centroamericano, y se corrigieron aquellos errores de los que se tenía conocimiento.

Nivel de esfuerzo por parte del equipo del proyecto

Debido al tamaño pequeño del país (22,963 km²), fue posible mapearlo con mucho detalle. Aún cuando el tamaño mínimo del polígono para este proyecto fue de alrededor de 150 hectáreas, el tamaño mínimo del polígono para Belice fue de aproximadamente 10 hectáreas, y en algunos casos se crearon algunos polígonos más pequeños aún.

La referencia principal para las correcciones antes mencionadas fueron dos imágenes Landsat TM que cubrían las secciones de Belice que están más al noroeste y al sur:

- Landsat TM Path 19 Row 49, 17 mayo 1996, en formato Erdas v7.4
- Landsat TM Path 19 Row 48 (parcial), 15 septiembre 1998, en formato Erdas v7.4

El trabajo inicial y el trabajo en las áreas no cubiertas por las escenas antes mencionadas se llevó a cabo sobre la base de un compuesto impreso del Landsat TM de 1993, a una escala de 1:250,000, con verificación detallada en el campo. Esta copia fue preparada por los consultores DHV, BV de los Países Bajos, y está compuesta por las bandas espectrales 4,5,3.

En el contexto de este proyecto, se efectuaron 38 visitas de campo adicionales, particularmente para tener más claridad sobre las sabanas de tierras bajas de Belice. Además, se recopiló información valiosa de varios reportes. El proyecto se benefició asimismo de datos recopilados de un sinnúmero de sobrevuelos conducidos por varios miembros del equipo.

El investigador senior en Belice (Meerman) identificó aquellas especies con las cuales estaba familiarizado en el campo, y recopiló especies desconocidas para ser identificadas por el laboratorio del Herbario del Departamento Forestal de Belice. Se hizo un énfasis particular en los ecosistemas de las sabanas y otras clases que habían recibido menos atención durante ejercicios previos de mapeo. En vista de su larga

trayectoria en ejercicios de mapeo, el mapa de Belice es de los más detallados de la región.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

Los rasgos sobresalientes fueron las sabanas de tierras bajas, cuyo mapeo resultó ser bastante complejo y difícil (particularmente las dos clases de sabana con graminoides cortos con coberturas variables de bosques densos aciculifoliados). Estos son vastos prados que generalmente tienen suelos compactados, moderadamente ácidos, que se alternan con mosaicos de matorrales, árboles aislados, bosques pobremente desarrollados y galerías de bosques. Los incendios juegan un papel muy importante. A diferencia de los otros países del área centroamericana, Belice no cuenta con muchas elevaciones. En la mayor parte del país, la vegetación tiene una estacionalidad muy pronunciada, aún en las áreas boscosas siempreverdes. Este se debe a la falta de lluvia durante la estación seca, que dura desde febrero a mayo.

Guatemala

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) ha distribuido el mapa de los ecosistemas nacionales en un CD, así como un informe nacional de excelente calidad y de gran detalle (INAB 2001).

Nivel de esfuerzo por parte del equipo del proyecto

Dado el tamaño grande del país (108,889 km²), el mapeo se llevó a cabo con un nivel de detalle menor que en los demás países. La recopilación de datos en Guatemala ha sido muy confiable con respecto al muestreo de especies, puesto que todos los datos fueron recopilados por investigadores senior, ya sea en el campo o en las instalaciones de sus laboratorios. Las descripciones de los ecosistemas físicos, sin embargo, son un tanto reducidas, y la recopilación de los datos físicos en el campo necesita ser fortalecida en el futuro.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

El conjunto más grande de ecosistemas naturales todavía existente en Guatemala se encuentra en el norte, en el Petén. El Petén es un ecosistema complejo e interesante que está conformado por bosques pantanosos pobremente drenados y pantanos herbáceos extensos, alternando con regiones con colinas cársticas. Otra área interesante, aunque muy intervenida, es la del Valle del Motagua, que está ubicada en un área al resguardo de la lluvia, y por lo tanto tiene características semi-desérticas. El ecosistema resultante, con arbustos espinosos, tiene muchas características únicas y especies endémicas, y se repite solamente en el norte de Honduras, pero en menor escala.

Cuadro 8. Datos de imágenes usados para Guatemala

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
21	48	01 – 19 – 99

21	49	01 – 19 – 99
21	50	01 – 19 – 99
20	48	01 – 12 – 99
		04 – 14 – 86*
20	49	01 – 12 – 99
		12 – 24 – 97
20	50	01 – 112 – 99
19	48	12 – 04 – 98
19	49	02 – 19 – 98
		03 – 17 – 96
19	50	02 – 19 – 98
		03 – 17 – 96

* Se usaron imágenes más viejas para sustituirlas por algunas áreas debido a cobertura de nubes.

El Salvador

El informe nacional fue preparado por Ventura Centeno et al. (1990).

Mapeos anteriores

Los primeros mapas de vegetación de El Salvador fueron preparados en los años 50 por Lötschert y Lauer, y estaban basados en una zonificación climática. Guierloff-Emdem extendió el sistema climático con datos obtenidos en el campo. Holdridge (1975) utilizó el sistema de zonas de vida ecológicas para desarrollar un mapa ecológico de El Salvador. Daugherty (1973) clasificó seis clases principales de bosque, divididas en formaciones boscosas de tierras altas y tierras bajas, pero también incluyó tipos de vegetación no boscosas como la vegetación de playa y los arbustales. Finalmente, Flores (1980) preparó una clasificación en base a 13 comunidades de vegetación y enumeró especies típicas de plantas para cada una de ellas.

Con una superficie de 21,040 km², El Salvador es el país más pequeño de América Central y sólo se clasificaron 19 ecosistemas naturales. Si bien el 26% del territorio nacional está cubierto por fragmentos de vegetación natural (terrestre y acuática), mucha está clasificada como vegetación intervenida por el hombre. Se estima que solamente un poco más del 6% de la cobertura de vegetación es bosque natural. Debido a la creciente importancia de la conservación de hábitats semi-naturales o aún de aquellos totalmente alterados, el equipo salvadoreño puso mucha atención a los hábitats antropogénicos y clasificaron dos ecosistemas semi-naturales (intervenidos) y siete sistemas agrícolas.

Para la preparación del mapa, el equipo salvadoreño utilizó ocho paisajes georeferenciados del Landsat TM: cuatro del período antes del Huracán Mitch (mayo 1992 y marzo 1994), y cuatro después del Mitch (diciembre 1998).

Cuadro 9. Imágenes usadas para El Salvador

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
18	50	3-5-94 y 12-29-98
18	51	12-29-98

La naturaleza altamente fragmentada de los ecosistemas naturales de El Salvador hizo necesario un nivel muy detallado de esfuerzo para mapearlos, pero el tamaño del país permitió este nivel de detalle. Como resultado, el mapa de los ecosistemas del país es más detallado que el del resto de los países vecinos. El nivel de confiabilidad de los datos taxonómicos recopilados es muy alto puesto que fueron identificados por los investigadores senior en el campo o recopilados como especímenes para su identificación en laboratorios.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

Debido al mapeo detallado, el equipo nacional descubrió una vegetación muy interesante tipo páramo, con arbustos enanos en pendientes volcánicas altas. Nunca se había encontrado vegetación tipo páramo tan al norte. Es muy posible que una vegetación similar pueda encontrarse en algunas de las cimas altas en Guatemala y en Honduras, como Celaque (House, pers. Comm., 2001).

Honduras

Mapeos anteriores

Honduras tiene una superficie total de 112,492 km². Holdridge produjo un mapa de zonas de vida para el país con ocho zonas de vida. La COHDEFOR produjo un mapa forestal en 1995 con cinco clases de bosques. En 1997, Iremonger, Nelson y Vreugdenhil produjeron un mapa en base a las imágenes impresas del Landsat de 1994/1995, impresas en bandas 4, 5, 3. El mapa fue impreso a una escala de 1:250,000, pero no en copias múltiples.

Las plantas para la primera versión del mapa fueron recopiladas por Cirilo Nelson. En ese tiempo no era posible tomar lecturas GPS debido a la falta de equipo apropiado, y tampoco estaba disponible una base de datos. Por lo tanto, las especies recopiladas son interesantes como datos para la región, pero no pueden ser usadas para las descripciones actuales de los ecosistemas puesto que no sabemos la ubicación precisa de las muestras. El mapa es muy detallado, e incluye unas 70 clases. Se utilizó una versión adaptada del sistema de clasificación UNESCO. Sin embargo, el mapa debía ser actualizado debido a que algunas de las clases bajo la metodología actual debían ser reclasificadas bajo sistemas productivos para el Mapa del os Ecosistema de América Central, y necesitaba hacerse uso de diferentes líneas de elevación.

Nivel de esfuerzo por parte del equipo del proyecto

El mapa actual tiene alrededor de 65 clases. Para la verificación del mapa de Iremonger, el equipo nacional tomó la decisión de recopilar los datos en base a una selección al azar de relevés. Esto resultó en la recopilación de varios relevés ubicados

mayormente en sistemas agrícolas de producción. Estos datos, así como otras consideraciones ecológicas (véase el siguiente párrafo), sugieren que en Honduras, varias de las clases de pino reconocidas por Iremonger deben ser consideradas más bien como sistemas productivos en vez de clases de ecosistemas naturales.

Honduras resultó ser un país bastante difícil de mapear. El país tiene muchas regiones secas con vegetación leñosa esporádica dominada por especies *Pinus*. Los tamaños de los pinos varían desde el tamaño de un arbusto hasta un tamaño natural. Su densidad varía desde bosques cerrados hasta sabanas casi desprovistas de árboles, aunque la mayor parte de las áreas se encuentran en algún punto intermedio.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

Honduras y el norte de Nicaragua están atravesados por cordilleras de un sistema montañoso que se extiende desde América del Norte. Muchos elementos del norte y aún boreales encuentran sus límites de distribución en las cimas de las altas montañas de Honduras o de Nicaragua. Muchas especies coníferas, como el *Pinus oocarpa*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, y *P. maximinoii*; *Abies Guatemalensis*; *Cupressus lusitanica*; y *Taxus globosa* se encuentran en elevaciones más altas en Honduras, pero únicamente el *Pinus caribea* se extiende más al sur, hasta las tierras bajas de Nicaragua.

Cuadro 10. Imágenes usadas para Honduras

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
15	50	9-1-1999
16	49	11-16-1995
17	49	2-23-1993
17	50	2-23-1992
17	51	2-23-1993
18	49	3-5-1994
18	50	3-5-1994
18	51	12-29-1998
19	50	12-4-1998

Grandes áreas en Honduras están cubiertas con tipos de bosques dominados por *Pinus caribaea*, que pueden variar desde formaciones de sabana hasta bosques pobremente desarrollados. Todos estos bosques están sujetos a la presión de actividades humanas. Todos están sujetos a quemas periódicas, y en el centro y el occidente de Honduras también están sometidos a actividades de pastoreo. Se tomaron alrededor de unos 200 *relevés* en aquellas áreas clasificadas en el mapa de Iremonger como “bosques de pino muy ralo”. En el mundo de la producción forestal, estas áreas se consideran bosques o sistemas de bosques, pero después de analizar más de 200 *relevés* en estas áreas con escasos árboles (una mezcla de clases de bosque ralo, tierra leñosa y sabanas), quedó claro que en el contexto del presente estudio, estas clases tenían que ser revisadas y por lo tanto muchas de las áreas fueron colocadas bajo “sistemas productivos”. En un mapa del uso de la tierra, muchas de estas áreas serían clasificadas como sistemas silvopastoriles.

En La Mosquitia (tanto en Honduras como en Nicaragua), los bosques de pinos caribeños y las sabanas sufren quemadas frecuentes, y se parecen a los bosques de pino de las planicies costeras de Belice. Estas áreas son muy difíciles de mapear desde imágenes satelitales, puesto que sus condiciones fisiológicas varían grandemente en distancias relativamente pequeñas. La diversidad de su fisonomía no es, sin embargo, un reflejo de variabilidad ecológica sino el resultado de trastornos continuos debido a quemadas y pastoreo. Estas tienden a ser separadas en clases diferentes bajo el sistema UNESCO, pero no refleja necesariamente una diferenciación en conjuntos de especies. Esta situación es muy similar a la que se observa en las sabanas de África, que están sujetas a condiciones similares y en donde los cambios estructurales rápidos luego de incendios tienen poca correspondencia con la diversidad florística (McDonald et al. 1996).

El país alberga una especie endémica extremadamente restringida, la Esmeralda hondureña (*Amazilia luciae*). Este colibrí habita en los bosques secos deciduos espinosos del Valle del Aguán, que están ubicados al resguardo de la lluvia en la Cordillera de Nombre de Dios, si bien esta especie también puede encontrarse en valles aislados en otras partes del norte de Honduras (Howell & Webb 1995). Esta clase particular es considerada como un ecosistema escaso e importante, y posiblemente esté relacionada con el ecosistema Motagua en Guatemala.

Nicaragua

Nicaragua, con una superficie total de 128,410 km², fue mapeada por primera vez por Taylor (1962), quien utilizó su propia versión de una clasificación fisiológica para unas doce diferentes clases de bosques. Cada clase fue descrita en mucho detalle en un documento anexo. En los años 70, Holdridge & Tossi describieron las zonas de vida en un formato de mapa, y en 1993 Salas propuso un mapa forestal basado en un sistema similar al de Taylor.

Nivel de esfuerzo del equipo del proyecto

La metodología utilizada en Nicaragua fue un tanto diferente a la usada por los demás países (Meyrat 2000). El equipo nacional hizo mucho énfasis en la capacitación y producción participativa del mapa. Organizó jornadas nacionales de capacitación sobre la metodología de mapeo, invitándose a biólogos acuáticos extranjeros y a botánicos de Costa Rica. También se reclutaron tres equipos de jóvenes recién graduados para llevar a cabo el trabajo en el campo.

Este enfoque tuvo sus ventajas y sus desventajas. La metodología fue aceptada más entusiastamente que en otros países centroamericanos. Alrededor de 15 biólogos jóvenes fueron capacitados tanto en trabajo en el campo como en tareas de mapeo durante un período de un año. Por otro lado, sin embargo, el ecólogo principal (Meyrat) estuvo muy involucrado en el trabajo organizacional y raramente estuvo en el campo, por lo que muchos de los datos del campo fueron recogidos por biólogos con muy poca experiencia. Por ende, algunas veces los relevés pueden no ser los más representativos

del polígono y pudieron haberse cometido errores en la identificación de especies. Los especímenes recogidos fueron identificados por el ecólogo principal, y esos datos sí son confiables.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

Nicaragua es un país verdaderamente tropical, con una diferenciación marcada entre la costa más seca del Pacífico y la costa tropical húmeda del Atlántico en el sur. Los frentes fríos, que son comunes en Guatemala y en Belice, y que son ocasionales en las regiones más altas de Honduras, son virtualmente desconocidos en Nicaragua.

En la planicie del Pacífico se encuentran dos lagos tectónicos relativamente grandes. El Lago Managua (Lago Xolotlán) presenta una condición avanzada de eutroficación. El Lago Nicaragua (Lago Cocibolca), en cambio, tiene una dinámica estable. En ambos lagos existen especies endémicas de peces.

Si bien encontramos áreas de lava con vegetación y lagos cratéricos en Guatemala, El Salvador y en Costa Rica, no ocurren en condiciones ecológicas (climáticas y florísticas) similares a las de Nicaragua. Los flujos de lava en Nicaragua ocurren en las tierras bajas, creando mayor stress hídrico para la vegetación que en las otras áreas en América Central, donde aparecen en las áreas altas. Los lagos cratéricos de Nicaragua son únicos por su fauna íctica de cichlidos y no han sido perturbados.

Cuadro 11. Imágenes usadas para Nicaragua

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
14	54	28 enero 1986
15	50	28 abril 1998
15	51	19 enero 1997
15	52	19 enero 1997
15	53	6 febrero 1986
16	50	12 marzo 1996
16	52	25 enero 1986
17	50	23 febrero 1993
17	51	19 diciembre 1997
17	52	8 febrero 1999
18	51	29 diciembre 1998

Un fenómeno particularmente interesante en Nicaragua es la formación de “coronas” de nubes, como se les conoce localmente, alrededor de los volcanes de la costa del Pacífico sur (el “efecto telescopio” o *massenerhebung*). Ubicados en una región relativamente seca, estos volcanes tienen bosques extraordinariamente más húmedos que sus alrededores, a pesar de que la precipitación que reciben puede no ser mucho mayor. Estas coronas de nubes frecuentemente persisten durante la mayor parte del día, proporcionando humedad a la vegetación, y protegiéndola de la luz solar directa.

Si bien existen en otros países, es en Nicaragua donde se dan más al sur (a unos 12§30' latitud norte, UTM 14) los bosques de pino estacional siempreverdes submontanos (caracterizados por *Pinus oocarpa*) y las sabanas de pino inundadas (dominadas por *Pinus caribaea*).

En las planicies del Caribe encontramos bosques estacionales siempreverdes dominados por bambú, que es algo único en América Central. Posiblemente sea una etapa de sucesión luego de que un bosque fluvial fuera perturbado por desastres naturales o por intervención humana.

Existen dos tipos de ecosistemas manglares. Uno está compuesto por manglares en sustratos margosos a lo largo de las márgenes de lagunas costales. En estas formaciones se encuentra el “mangle piñuela”, *Pelliciera rizophorae* (Theaceae), que en la región centroamericana se encuentra únicamente en la costa del Caribe de Nicaragua y Panamá, y en la costa Pacífica de Costa Rica. Esto indica que las especies se diseminaron de un océano a otro antes de la formación del puente terrestre mesoamericano. Una segunda formación de manglares aparece en el sustrato coralino en los Cayos Miskitos.

Los prados submarinos de pasta marina que rodean los miles de cayos y arrecifes en la costa del Caribe en Nicaragua bien podrían ser el área más grande de su tipo en el mundo. Está dominada por la pasta de tortuga (*Thalassia testudinum*) y la pasta de manatí (*Syringodium filiforme*), ambas con elevados índices de productividad primaria. Estas áreas, sin embargo, no fueron mapeadas en este proyecto debido a dificultades para delimitarlas.

Costa Rica

Mapeos anteriores

Un análisis detallado de los ecosistemas de Costa Rica, llevado a cabo por Holdridge et al. en 1970, proporcionó muchos detalles sobre los ecosistemas de bosques tropicales, pero no produjo ningún mapa. El mapa de zonas de vida para Costa Rica, preparado por separado por Holdridge et al. (1970), muestra 12 zonas de vida. Gómez (1986a), utilizando fotografías aéreas, produjo el documento antes mencionado, “Macro-tipos de Vegetación de Costa Rica”, siguiendo el sistema de clasificación UNESCO y basado en el Mapa de las Regiones Climáticas de Costa Rica (Herrera 1986) y en el Mapa de Suelos de Costa Rica (Tournon and Alvarado 1989). El pie de grabado del mapa también proporciona clases detalladas de suelo asociadas con las clases de vegetación. Un reporte anexo, “*Vegetation Map of Costa Rica*”, proporciona documentación minuciosa. Este esfuerzo constituyó el punto de partida para el archivo del mapa actual.

Es de hacer notar que los ecosistemas de Costa Rica están siendo mapeados actualmente en gran detalle por INBio (1:50,000), como parte de su Proyecto de ECOMAPAS. Están utilizando un sistema de clasificación similar al sistema de

clasificación de ecosistemas de Centro América utilizado en este proyecto. Alrededor de la mitad de Costa Rica había sido mapeada para comienzos del 2002.

Nivel de esfuerzo del equipo del proyecto

El país fue dividido en siete sectores que contienen los diferentes conjuntos de especies contenidos en cada uno de ellos. La división se basó en un análisis biogeográfico llevado a cabo en el contexto de los proyectos de mapa de Gómez (1993) y Herrera y Gómez (1993). Los siete sectores son los siguientes:

- Pacífico Norte y Valle Central (incluyendo el Valle Central Oriental)
- Las montañas de las cordilleras de Guanacaste, Central y Talamanca
- Los Valles General y Terraba
- El Pacífico Sur
- Las cuencas del norte (incluyendo todas las cuencas que confluyen en el Río San Juan desde el Río Sapoá hasta la cuenca de Sarapiquí)
- La región de las cuencas del Atlántico Norte
- La región de las cuencas del Atlántico Sur

Cuadro 12. Imágenes usadas para Costa Rica

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
14	53	01-18-99
14	54	02-16-98
15	53	03-99
		03-98
		02-06-86
15	54	04-03-92
16	52N	12-15-98
16	53S	01-10-97

El proyecto fue seriamente obstaculizado por un georeferenciamiento pobre e inconsistente de las imágenes impresas, y por pequeñas pero significativas desviaciones del tamaño de impresión de las imágenes de 1:200,000. Esto causó problemas significativos en la transferencia de las líneas de elevación a partir de los mapas topográficos. A solicitud del biólogo principal, la mayoría de las imágenes fueron procesadas en combinaciones de bandas 5, 4, 3. En el contexto de la digitalización, todas las imágenes fueron geo-referenciadas y procesadas en las bandas 4, 5, 3. En este proceso, una parte de los problemas enfrentados anteriormente pudieron ser corregidos. Se seleccionaron sitios específicos para obtener datos complementarios y para verificar los esfuerzos previos de mapeo. El trabajo en el terreno fue llevado a cabo por un equipo de biólogos, y las muestras del campo fueron revisadas en el laboratorio y verificadas por el científico principal. Los datos son confiables.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

Costa Rica es el único país en la región que ha protegido un área grande de la región seca del Pacífico, la Provincia de Guanacaste, que exhibe condiciones semi-decíduas, decíduas, y de sabana. A pesar de que esta área está siendo administrada para la cría extensiva de ganado desde hace varias décadas, ha mantenido muchas de sus especies originales. Junto con Panamá, Costa Rica contiene el único páramo en la región, similar al páramo andino.

Si bien se considera que en Mesoamérica la diversidad de especies por lo general aumenta de norte a sur, esto no se refleja en el número de clases de ecosistemas encontrados en Costa Rica y en Panamá. Esto se debe al hecho de que el sistema UNESCO hace una distinción entre formaciones latifoliadas, mixtas y de pino. Las formaciones mixtas y de pino están ausentes al sur de la depresión nicaragüense. Como resultado, los mapas de Costa Rica y de Panamá muestran un número menor de clases de ecosistemas.

Panamá

Mapeos anteriores, diferencias en mapeos

Panamá no cuenta con un mapa previo de ecosistemas o de vegetación, aparte del mapa básico de zonas de vida de 1974, que muestra ocho zonas de vida. Una clasificación supervisada y detallada se llevó a cabo para Bocas del Toro por parte de Guzmán y Guevara (1998), con un mapeo detallado de manglares, pastas marinas y algunas clases de arrecifes coralinos.

Nivel de esfuerzo del equipo del proyecto

Con una superficie de 77,081 km², Panamá es un país de tamaño medio en la región. El equipo panameño se apegó al acuerdo original de usar un polígono mínimo de alrededor de 150 hectáreas. Como resultado, algunos de sus ecosistemas más pequeños, reconocidos individualmente, han sido agrupados o ignorados en este mapa, pero han sido mencionados en el informe nacional final. Este fue el caso de los ecosistemas del litoral de Bocas del Toro. La clasificación supervisada para la zona costera de Bocas del Toro llevada a cabo por Guzmán no fue incorporada en el archivo GIS.

En Panamá, la mayor parte del trabajo en el terreno no se llevó a cabo por los botánicos senior del país, sino por biólogos con 5 a 10 años de experiencia en el terreno. Las especies que fueron recogidas y no reconocidas fueron identificadas posteriormente en laboratorios y con la ayuda de la página web electrónica del Jardín Botánico de Missouri. La calidad de los datos taxonómicos y fisonómicos es buena.

Rasgos sobresalientes de los ecosistemas

En Panamá se han identificado menos clases que en los otros países centroamericanos. Esto se debe, en particular, a las condiciones más húmedas del país como un todo. Con la excepción de una región estrecha en la costa de Azuero, los bosques son la vegetación que se encuentra casi en todos lados. Prácticamente no existen cuerpos naturales de agua dulce y abiertos en este país estrecho y montañoso. Las únicas formaciones pantanosas están confinadas a los extremos este y oeste. No se ha hecho ninguna distinción entre el manglar del Pacífico y del Caribe. La clase manglar con *Pelliciera rhizophorae*, una categoría propia y aparte, no fue reconocida originalmente por el equipo nacional, sino que fue identificada posteriormente a partir de la literatura para Bocas del Toro (Guzmán 1998).

Los rasgos sobresalientes específicos en el contexto regional son un pantano de turba en la costa nor-este, el páramo ya mencionado, y los arrecifes coralinos en la costa del Atlántico. Los arrecifes de coral, si bien no fueron mapeados en el contexto de este proyecto, son ecosistemas importantes. Mucha información al respecto ha sido recopilada por Guzmán y Guevara (1993) y Guzmán (1998), y está siendo analizada en el contexto de otro proyecto (Guzmán, pers.comm., 2001).

Cuadro 13. Imágenes utilizadas para Panamá

<i>Trayectoria</i>	<i>Fila</i>	<i>Fecha</i>
10	54	03-21-91
10	55	03-21-91
		07-08-96
11	54	02-27-98
11	55	03-31-98
12	53	04-07-98
12	54	04-07-98
12	55	03-09-99
13	54	03-26-97
13	55	03-29-98
14	53	01-18-99
14	54	02-16-98
		04-02-97

4. Discusión

4.1 Factores Ecológicos Importantes

Muchos usuarios de los mapas, bases de datos y de las descripciones de los ecosistemas buscan patrones. ¿Por qué se encuentra este ecosistema aquí? ¿Dónde más podría encontrarse? ¿Qué es lo que determina su distribución en América Central? Para una mejor comprensión de los ecosistemas individuales, es importante comprender los factores ecológicos que sustentan estos ecosistemas. Algunos de los más importantes incluyen el drenado, la elevación, el clima y el fuego. Es necesario llevar a cabo muchas investigaciones más para comprender su importancia relativa, pero a continuación proporcionaremos nuestras reflexiones en torno a estos factores ecológicos.

Drenado

El drenado es un factor muy importante en la definición de ecosistemas locales. El hecho de que las especies de plantas sean tolerantes o no a saturaciones de agua determina dónde pueden crecer y, por ende, determina el tipo de ecosistemas que pueden desarrollarse. Las pendientes son un factor predominante para el drenado. Por esta razón, en la clasificación de ecosistemas que hemos seguido en este proyecto, todas las áreas montañosas y con colinas han sido clasificadas como “bien drenadas”. En la escala de este mapa, estas áreas bien drenadas pueden tener un mosaico de bolsones moderadamente drenados y / o terreno inundado, pero las condiciones predominantes en el ecosistema como un todo son de un buen drenado.

Para organismos y plantas de suelo, un drenado pobre y unas condiciones de anegación representan condiciones extremadamente exigentes que requieren mecanismos sofisticados para el intercambio de gases, para el escape de condiciones saturadas o anegadas, o alguna forma de inactividad estacional.

Los organismos acuáticos, por el otro lado, se benefician grandemente de este tipo de condiciones. El grado de inundación de las planicies durante la estación lluviosa puede ampliar diez o hasta cien veces más el tamaño de los hábitats de los organismos fluviales como los peces y los cocodrilos.

Los pájaros migratorios pueden viajar miles de kilómetros para encontrar condiciones de tierras húmedas. Los anfibios en particular tienen predilección por estanques estacionales que no están conectados a otros sistemas fluviales, porque así evitan ser presa de los peces. Este tipo de condiciones abunda en áreas moderadamente drenadas y en áreas con pendientes ligeras, con pequeños bolsones aislados de agua.

Las inundaciones y las saturaciones de agua crean condiciones extremas, y relativamente pocas especies han evolucionado para poder hacerle frente a esta situación. Como resultado, la diversidad de especies en condiciones pobres de drenado

es típicamente más baja que en sitios bien drenados. Por otra parte, la cantidad de biomasa es frecuentemente mucho más alta y las tierras húmedas generalmente tienen mayores cantidades de vida salvaje, particularmente de aves. Las inundaciones permanentes pueden conducir a la acumulación de turba. En los trópicos, éste es un fenómeno relativamente raro. En las áreas bajo estudio, este fenómeno se encontró primordialmente en la frontera entre Costa Rica y Panamá.

América Central está dividida en dos regiones principales de drenado: el Pacífico y el Atlántico. El Atlántico es el más grande de los dos. Para la fauna y flora acuática de movilidad limitada, esta división es muy importante debido a que la conectividad se logra a través de ríos y riachuelos. Los animales acuáticos en uno y otro lado de la divisoria continental están completamente separados unos de los otros. Las especies de plantas, sin embargo, parecen ser las mismas.

Con frecuencia, se utiliza la presencia o ausencia de flujo o corrientes (Gómez 1984) para dividir hábitats acuáticos. El flujo es muy importante desde el punto de vista ecológico. Las corrientes son un factor de dinamismo físico en un ecosistema. Transportan nutrientes y sedimento, y afectan la conectividad biológica. En la mayoría de los ecosistemas acuáticos está presente algún tipo de flujo, pero este estudio no ha incorporado de manera sistemática la presencia o ausencia de flujos, aparte del reconocimiento de ríos y de estuarios como sistemas típicamente lóticos.

La mayoría de los ríos y todos los riachuelos menores son demasiado estrechos para ser mapeados y, por ende, puede considerarse que todos los ecosistemas terrestres incluyen, en cierta medida, un laberinto fino de ecosistemas acuáticos con planicies paralelas, estrechas e inundadas.

Elevación

Las diferencias en elevación resultan en diferencias climáticas. Como se mencionara anteriormente, se han utilizado cinco niveles de elevación como aproximaciones para la diferenciación climática. La elevación también puede ser un factor en el aislamiento de la población. Las áreas en tierras altas tienen una distribución descoyuntada que puede resultar en un aislamiento genético de la flora y fauna; se estima que las regiones de tierra alta tienen números mayores de especies endémicas.

En este sentido, es importante darse cuenta que en la región existen dos grandes bloques montañosos bien definidos. Uno está en el norte, y se extiende desde México, a través de Guatemala y Honduras, hasta llegar a Nicaragua. Los picos más altos están en Guatemala, y llegan hasta los 4,211 metros de altura (Volcán Tajumulco). El segundo bloque está en el sur, y se extiende desde Costa Rica hasta la parte occidental de Panamá. El pico más alto es el de Chiripó en Costa Rica, que se eleva a una altura de 3,819 metros.

La composición de las especies entre diferentes regiones montañosas difiere por distintas razones. El incremento en la temperatura Norte-Sur, junto con un aislamiento efectivo de las especies de mayor elevación por la depresión nicaragüense, tuvo un efecto inhibitor en las invasiones de especies entre el norte y el sur de Centro América. En particular, las especies de climas templados y boreales no pudieron emigrar más al sur (por ejemplo las especies de pino, cuyo límite extremo está en Nicaragua).

En montañas aisladas, la respuesta de la vegetación a condiciones relacionadas con la elevación parece ocurrir a elevaciones más bajas que en cordilleras grandes como la de Talamanca. Este fenómeno se ha denominado “*massenerhebung*” o “efecto telescopio” (Hammen y Ruiz 1984), y ha sido observado en varios volcanes aislados en la región. Un ejemplo son las montañas Maya de Belice. No sobrepasan los 1,000 metros de altura, pero contienen especies de plantas que no se dan en alturas menores de los 1,000 metros en Guatemala y en Honduras (como el *Liquidambar styraciflua*, que se encuentra en Belice en elevaciones tan bajas como los 700 metros). De igual manera, en Honduras y en Nicaragua crecen formaciones de matorrales bajos en cimas de montañas aisladas donde todavía se esperaría encontrar bosque. En El Salvador se encuentra una vegetación tipo páramo un poco más arriba de los 2,000 metros. Grubb era de la opinión que la presencia frecuente de nubes es la causa de este fenómeno. En particular, se sabe que los volcanes aislados desde El Salvador hasta el norte de Costa Rica están frecuentemente cubiertos con “coronas” de nubes, fenómeno que puede darse aún durante la estación seca cuando el cielo está completamente despejado.

Incendios

La mayor parte de América Central está constantemente afectada por incendios. Si bien el papel de los incendios en la formación y la continuidad de los ecosistemas no es bien comprendido, ha sido un factor importante durante mucho tiempo. Lundal, por ejemplo, describió en 1937 los incendios como un fenómeno importante en El Petén.

Puesto que los pinos (*Pinus*) generalmente son más resistentes al fuego que muchos árboles latifoliados, los incendios evitan que las especies de bosques latifoliados invadan y sustituyan a los pinos en suelos en donde se daría más el bosque latifoliado. Por lo tanto, y en general, los paisajes dominados por los pinos (como los que hay en el centro y en el occidente de Honduras) son considerados inducidos por el fuego (Knapp 1965).

La mayoría de los incendios son provocados por personas. Sin embargo, datos recabados para el período 1963 – 1970 para la Reserva *Mountain Pine Ridge Forest* en Belice indican que de los 46 incendios registrados, 29 (63%) fueron causados por relámpagos y 17 (37%) por personas. En contraste, en la planicie costera del sur de Belice, la gran mayoría de los incendios fueron provocados por cazadores tratando de sacar a sus presas a campo abierto (ODA, 1989; Merman observaciones personales).

El fuego es un elemento clave en las sabanas costeras de Belice y en La Mosquitia. A partir de nuestras observaciones durante este estudio, somos de la opinión que el desarrollo de las sabanas es el resultado de una combinación de factores:

- suelos ácidos compactados, pobremente drenados; frecuentemente inundados durante la estación lluviosa, y extremadamente secos durante la estación seca
- estaciones secas un tanto más prolongadas en comparación con las costas del Atlántico en otras partes de la región
- incendios frecuentes, mayormente, pero no exclusivamente, de origen antropogénico

En La Mosquitia, la COHDEFOR ha protegido algunas parcelas de sabanas de pinos de los efectos de los incendios durante más de 15 años. Estas parcelas han crecido hasta convertirse en bosques de pino con estratos conspicuos de arbustos latifoliados. Aparentemente, sin la amenaza de los incendios, grandes partes de estas sabanas podrían convertirse en bosque. La combinación de la poca frecuencia de relámpagos y la desecación estacional de comunidades de bosque de Pino Caribeño indica que, en alguna medida, los incendios probablemente forman parte natural de estos ecosistemas. Habiendo dicho ésto, bajo condiciones naturales, las sabanas no se incendiarían tan frecuentemente y los incendios no se esparcirían tanto como cuando ocurren por intervención humana.

Los incendios en bosques latifoliados generalmente son ignorados y a veces parecen no tener semejanza alguna con los incendios masivos que pueden observarse en los bosques aciculifoliados. Los incendios en bosques latifoliados son usualmente bajos, y se deslizan lentamente a través del mantillo de hojas. Sin embargo, estos fuegos bajos que se esparcen lentamente pueden ser en extremo destructivos. En un principio, los árboles, sobretodo los árboles jóvenes, pueden parecer ilesos, pero morirán con el tiempo como resultado de daño directo o indirecto, como resultado, por ejemplo, de un acceso patógeno incrementado a través de una corteza dañada y debilitada por el fuego. La mortalidad de los árboles como resultado de dichos incendios lentos puede continuar durante muchos años más después del incendio (Meerman, pers. obs.). Cada incendio que deja a su paso muchos árboles muertos o por morir hace que el bosque sea aún más susceptible a daños por incendios nuevos.

Los efectos pueden ser aún más dramáticos en bosques montañosos y aquellos con palmas Cohune (*Attalea cohune*). La capa abundante de hojas bajo las palmas Cohune explota en llamas, con frecuencia prendiendo fuego a la corona y lanzando chispas a grandes distancias. Los incendios pueden ser más devastadores en las colinas en donde una corriente ascendente crea incendios extremadamente calientes hacia la cima de la colina. Repetidos incendios pueden dar como resultado colinas “calvas” o desgastadas, con cobertura graminoide y/o helechos (particularmente *Dicranopteris* y *Pteridium caudatum*) en lugar de vegetación leñosa. La influencia de los incendios es más dañina cuando hay estrés debido a sequías (como en el caso de colinas cársticas), y en la presencia de vegetación altamente inflamable. En las colinas cársticas, los efectos son particularmente devastadores, puesto que la capa de tierra es delgada y altamente orgánica y, por ende, fácilmente destruida por incendios.

Más que ninguna otra cosa, las “quemadas” de la tierra para la agricultura ha sido el mayor culpable de los incendios en los bosques latifoliados de tierras bajas. En

general, los agricultores de subsistencia no toman en serio los incendios, ni aún cuando están fuera de control. Las cimas quemadas y “pelonas” de las colinas por lo general están asociadas con claros agrícolas al pie de la misma colina.

Hasta hace poco, eran poco conocidos la frecuencia, la magnitud y los efectos de los incendios destructivos en Centro América. La publicación reciente del Atlas Centroamericano de Incendios (Proyecto Frontera Agrícola 1998) documentó los incendios ocurridos durante la estación seca de 1998 a partir de imágenes satelitales. Este estudio sugiere que la mayoría de los incendios ocurren en áreas agrícolas y en áreas que bordean la vegetación natural restante, incluyendo las áreas protegidas.

No todas las sabanas y los ecosistemas herbáceos abiertos en Centro América se originaron por incendios. En particular, algunas sabanas en la región del Guanacaste son sabanas secas que, dadas las condiciones climáticas y las características del suelo, no podrían desarrollarse en bosques aún en la ausencia de incendios. Las planicies salinas del Golfo de Fonseca en la frontera entre Honduras y Nicaragua, y la región de Azuero en Panamá, son tipos de vegetación herbácea abierta que no tienen relación alguna con incendios.

4.2 Consideraciones Biogeográficas

La biogeografía es el estudio de la distribución geográfica de plantas y animales. Se ocupa no solamente de los patrones sino de los factores responsables de esos patrones.

Un factor de mucha importancia en el contexto centroamericano es que el área en sí es un vínculo entre Norte y Sur América. No es de sorprenderse, por lo tanto, que haya un clima norte/sur para las especies de origen norteamericano, y un clima sur/norte para las especies tropicales que se originaron en Sur América.

Gómez (1986a) reconoce varias regiones biológicas a lo largo del istmo centroamericano, en base a conjuntos de especies y géneros:

- i) La Región del Caribe: Incluye todas las islas del Caribe, parte de la Florida y de la península de Yucatán, las regiones caribeñas del istmo centroamericano, así como las costas caribeñas de América del Sur. En Centro América, la región biológica del Caribe es característica de las regiones costeras de Belice y de Honduras.
- ii) La Región Boreal Xerofítica: Poblada por elementos neárticos distribuidos en áreas áridas o sub-áridas. Las familias de plantas características de esta región son la Agavaceae y Cactaceae. La región incluye gran parte de la península de Yucatán, La Mosquitia y la mayor parte de la costa del Pacífico.
- iii) La Región Neotropical: Incluye la mayoría de las tierras bajas del Caribe centroamericano, así como las tierras altas húmedas. Se caracteriza por especies con afinidad a los trópicos húmedos de Sur América. Las áreas altas con afinidad a las regiones montañosas altas del norte de Sur América son reconocidas como una provincia inconfundible dentro de la región Neotropical: la provincia del Norte Andino. En Centro América, estas áreas ocurren en dos bloques separados

por las tierras bajas tropicales de Nicaragua. Como resultado, se reconocen frecuentemente como dos subcentros: el guatemalteco y el talamanqueño.

Debemos reconocer que trabajamos con regiones que cuentan con un gran número de especies, cada una con sus propios patrones de distribución. En la biogeografía, se generaliza y se consideran tendencias muy generales. Las regiones descritas por Gómez buscan agrupar geográficamente ciertos conjuntos de especies y géneros, y no dividir la región en zonas geográficas distintas y mutuamente exclusivas. Como resultado, estas áreas se superponen, y por lo tanto no pudieron ser usadas en este proyecto de mapeo.

El concepto de “ecoregión” es un sistema de clasificación un tanto distinto. Una ecoregión se define como un conjunto geográficamente identificable de comunidades naturales que comparten una gran mayoría de sus especies, dinámicas ecológicas, y condiciones similares, y cuyas interacciones ecológicas son críticas para su continuidad a largo plazo (Dinerstein et al., 1995). El concepto de ecoregión tiene supuestos acerca de la distribución pre-colonial de conjuntos de especies y procesos ecológicos.

Dinerstein et al. reconocen 18 ecoregiones para América Central, además de 13 unidades manglares. Estas ecoregiones muestran afinidades considerables con las subclases de formación utilizadas en el sistema UNESCO. Sin embargo, aparte de las diferencias en la escala, también hay diferencias en la interpretación, y a esto se atribuyen algunas de las discrepancias entre ambos sistemas. Por ejemplo, Dinerstein et al. no reconocen las sabanas para América Central, sino que las incorporan en los bosques coníferos o en los bosques secos latifoliados. En el otro extremo, reconocen un sinnúmero de sistemas de manglares. Dada la alta conectividad marina y la relativamente poca diversidad de especies en los sistemas manglares en general, quizás no haya suficiente fundamento para una clasificación tan detallada.

Un análisis rápido del mapa de los ecosistemas revela que, hasta cierto punto, los conjuntos identificables de ecosistemas constituyen regiones biogeográficas o ecoregiones. Es necesario llevar a cabo más estudios para determinar hasta qué punto es ésto sea cierto.

Una segunda gran área que necesita más estudio e investigación es la posibilidad de usar clasificaciones biogeográficas para delimitar aún más la clasificación misma de los ecosistemas. Por ejemplo, un bosque tropical latifoliado en tierras bajas en la sección del Atlántico de Belice, moderadamente drenado, tendería a tener una composición completamente diferente de especies que un bosque con la misma clasificación en la costa Pacífica de Panamá. Se hacen necesarios más estudios para determinar si dichas regionalizaciones pueden ser utilizadas para mejorar el mapa de los ecosistemas.

Con el ánimo de contribuir a la discusión sobre este tema, nosotros sugerimos la incorporación de las siguientes consideraciones de orden bioregional en el sistema de clasificación:

- *Distinción entre las pendientes del Pacífico y del Atlántico.* Ya se ha hecho referencia a la distinción entre las pendientes del Pacífico y del Atlántico en la definición de las zonas de elevación. Aún a alturas de 3,100 metros, Kappelle (1992) encuentra “diferencias florísticas” significativas entre clases de vegetación del Atlántico y del Pacífico, aún en áreas no muy distantes unas de la otras. Esta es sólo una de las muchas indicaciones que justifican una distinción entre clases UNESCO fisonómicamente similares para la región del Pacífico y del Caribe. Vale la pena considerar la posibilidad de hacer esta distinción genérica para todas las elevaciones.
- *Diferencias biogeográficas montañosas.* Varios inventarios llevados a cabo en la región de la Sierra Madre y en el macizo central montañoso que abarca Costa Rica y Panamá han revelado diferencias interesantes. Kappelle et al. (1994) describen una gran afinidad fitogeográfica entre la región de Talamanca y los bosques montañosos de los Andes del Norte, en base a los inventarios detallados. Una comparación hecha por Islebe & Kappelle (1994) muestra que “la flora subalpina guatemalteca está compuesta mayormente del género de hierbas holárticas y neotropicales, de clima templado, mientras que la flora subalpina costarricense está compuesta principalmente de arbustos neotropicales y géneros de árboles tropicales, junto con una pequeña cantidad de género de hierbas de clima templado.” Esta información, combinada con la distribución de límites del *Pinus* al norte de la depresión nicaragüense, ofrece amplia evidencia que justifica hacer distinciones entre clases UNESCO aparentemente similares de estas dos cordilleras en cada lado de la depresión nicaragüense (Kappelle et al., 1992). House (pers. comm, 2000) arguye tentativamente que los ecosistemas de la cordillera de Nombre de Dios deben ser diferenciados por ser la cordillera en el Atlántico de Honduras que queda más al extremo norte y la más aislada altitudinalmente.
- *Ecosistemas acuáticos.* En el caso específico de los ecosistemas acuáticos, el istmo centroamericano mismo constituye una gran barrera biogeográfica entre los dos océanos y entre los ecosistemas de agua dulce en cada lado de la divisoria continental. Por lo tanto, los sistemas acuáticos han sido divididos en sistemas del Atlántico y del Pacífico, a pesar de que en algunos casos pueden ser botánicamente muy similares. Se necesitan más estudios para determinar si éste es el enfoque correcto.
- *Manglares.* Como se mencionara anteriormente, los manglares no deben dividirse regionalmente sobre la base de la relativamente baja diversidad de las especies terrestres entre sistemas. Sin embargo, las características de su fauna marina quizá justifiquen una distinción entre los ecosistemas del Caribe y del Atlántico. Si en el futuro llegara a definirse una mejor regionalización íctica geográfica, entonces podrían distinguirse en la forma que corresponde.

4.3 Características Biológicas Inconfundibles

Al inicio de este informe, establecimos un supuesto de que los ecosistemas individuales representan conjuntos inconfundibles de fauna y flora que interactúan dentro de un marco de procesos ecológicos marcados. Si este supuesto es cierto, una clasificación de ecosistemas para mejorar la planificación para la conservación y para propósitos investigativos sería mucho más útil.

Es de hacer notar que la distinción fisonómica no siempre conduce a conjuntos diferentes de especies. Algunos ecosistemas dinámicos, como los de las sabanas costeras de pino caribeño de Belice y La Mosquitia, experimentan un rejuvenecimiento frecuente a través de las quemadas. Otro ambiente que muestra una gran variedad en la estructura de su vegetación es el de los manglares, causado por estrés ambiental continuo y variado. Dentro de tales hábitats, la estructura puede variar desde un bosque local denso, hasta una sabana o matorral prácticamente desprovisto de árboles, pero muchas de las mismas especies ocurren dentro de cada una de estas estructuras diferentes. Al aplicar un análisis de presencia / brecha, se debe ser muy cuidadoso con el uso de datos provenientes de áreas con estrés ambiental o intervención humana reiterada, puesto que pueden no tener la diferenciación de especies que es típica de otros ecosistemas con características fisonómicas similarmente distintivas.

Encontramos poca literatura sobre la distinción biológica de los ecosistemas clasificados en sistemas fisonómicos de clasificación. El sistema desarrollado por la *Federal Geographic Data Committee / United States National Vegetation Committee (USNCS)* está basado en la clasificación UNESCO, con ligeras modificaciones para satisfacer las necesidades de EEUU, y la adición de una caracterización florística. Al momento de esta publicación, este sistema reconocía más de 4,000 diferentes hábitats. El reporte de *The Nature Conservancy* sobre el sistema USNCS (Grossman et al., 1998) expresa lo siguiente: “Las comunidades ecológicas constituyen conjuntos únicos de interacciones naturales entre especies, proporcionan un sinnúmero de funciones importantes para los ecosistemas, y crean parte del contexto para la evolución de las especies”. Se queda corto, sin embargo, al argumentar que comunidades ecológicamente diferentes albergan conjuntos distintivos de especies. No existe evidencia científica directa que el enfoque USNCS, que está basado en una combinación de caracterización fisonómica-ecológica con una sub-división florística adicional es, en efecto, una distinción biológica suficiente para un análisis de brecha/presencia de conservación de la biodiversidad.

Después de una revisión cuidadosa de las descripciones de los ecosistemas y de los patrones de distribución de los ecosistemas que el mapa refleja para América Central, nosotros consideramos, provisionalmente, que cada ecosistema reconocido en nuestra clasificación representa un conjunto bastante distintivo y único de especies. La clasificación refleja las estructuras fisonómicas distintivas y las condiciones climáticas, y éstas, a su vez, están relacionadas con una serie de factores ecológicos importantes que resultan, acumulativamente, en conjuntos distintivos de especies.

Cada país en América Central tiene un número relativamente alto de clases dentro de territorios relativamente pequeños. Por lo tanto, somos de la opinión que el sistema

expandido UNESCO, tal y como ha sido utilizado en este proyecto de mapeo, proporciona un nivel de detalle que permite la representación/análisis de brecha de sistemas de conservación a nivel nacional. Esto ha resultado cierto en un estudio en marcha en Honduras sobre la racionalización del sistema de áreas protegidas (Archaga, perso. Comm., 2002). Sin embargo, se hace necesaria una investigación más exhaustiva para determinar si algún nivel diferente de exactitud o precisión en la clasificación es el más indicado para propósitos de planificación para la conservación.

4.4 Cambio Climático

Existe un consenso dentro de la comunidad científica en torno al hecho de que los cambios antropogénicos en la composición de los gases atmosféricos tendrán impactos significativos en el clima global. Hay mucha incertidumbre acerca de la rapidez y magnitud de los cambios climáticos inducidos por el efecto invernadero, particularmente a niveles regionales, pero se tiene claridad sobre el hecho de que existe un potencial para un impacto significativo en los ecosistemas en todo el mundo (Peters and Darling 1985; Hobbs and Hopkins 1991). Los análisis de los perfiles climáticos actualmente ocupados por especies de plantas y animales, comparados con condiciones climáticas futuras bajo diferentes escenarios, sugieren que las actuales áreas de distribución geográfica de muchas especies serán climáticamente inapropiadas dentro de un período de tiempo relativamente corto. Si estos cambios llegaran en realidad a suceder, la supervivencia de las especies dependerá de su habilidad para adaptarse a nuevas condiciones climáticas, o de su capacidad para desplazarse hacia climas más apropiados. Los grupos más expuestos a ser afectados incluyen grupos taxonómicos localizados y/o aislados, poblaciones periferales o descoyuntadas, especies especializadas, especies genéticamente empobrecidas (Peters and Darling 1985), y aquellas que pertenecen a hábitats fragmentados contenidos en paisajes modificados por el hombre.

Es generalmente aceptado que las temperaturas aumentarán en América Central. Las estimaciones varían desde un incremento de 1.0 hasta uno de 3.0° C (1.8 – 5.4° F) durante los próximos 50 años. Las cifras promedio de precipitación para la parte norte de América Central tenderán a disminuir entre un 4% a un 19% durante los próximos 50 años (Hulme & Sheard 1999). El sur de Centro América, sin embargo, podría experimentar un ligero incremento en sus cifras de precipitación.

Si bien estas predicciones están basadas en datos insuficientes o supuestos, no hay duda alguna de que ocurrirán grandes cambios en los hábitats. Una de las aplicaciones de los proyectos de mapeo de ecosistemas será, por lo tanto, la creación de una línea de base para el monitoreo de estos cambios. Aún cuando dicho monitoreo no aborda el problema actual, los resultados deberán proporcionar datos convincentes para el manejo de los recursos naturales de la región.

Se ha sugerido que los vínculos entre los hábitats, como el Corredor Biológico Mesoamericano, pueden jugar un papel importante en respuesta a los cambios climáticos al: (a) facilitar el rango de expansión o los desplazamientos, (b) permitir la

redistribución de las especies dentro de su rango actual, y (c) crear poblaciones de especies más grandes, más resistentes y con mayor diversidad genética (Harris and Scheck 1991; Hobbs 1992; Noss 1993)

En primer lugar, en algunas situaciones, estos eslabones pueden ayudar a las especies de plantas y animales a extender su rango geográfico en respuesta a las condiciones climáticas. Sin embargo, debe ejercerse mucha cautela antes de concluir que los eslabones pueden asumir este papel. La tasa de expansión de rango requerida para responder al cambio climático proyectado es mucho más alta que la que se conoce tuvo lugar históricamente, o que haya sido revelada por análisis paleoecológicos, particularmente en el caso de las plantas (Hobbs and Hopkins 1991; Noss 1993).

El rango de expansión también puede estar limitado por factores ecológicos o antropogénicos, aún a pesar del mantenimiento de estos vínculos aparentemente apropiados. Por ejemplo, las condiciones climáticas pueden volverse más apropiadas en áreas adyacentes, pero los sustratos geológicos diferentes y los niveles de nutrientes en los suelos pueden ser inadecuados para las especies de plantas en cuestión.

Muchas especies dependen de interrelaciones ecológicas complejas con otras plantas y animales y, consecuentemente, un cambio de rango requeriría la migración de conjuntos de plantas y animales co-adaptados. No se conoce la ubicación geográfica ni las dimensiones necesarias de los vínculos para unas migraciones bióticas de esta naturaleza, pero es lógico asumir que se necesitarían grandes extensiones de hábitats naturales.

Los vínculos a través de gradientes elevacionales son los que tienen mayor probabilidad de facilitar cambios o desplazamientos de rangos. Esto se debe a que el desplazamiento geográfico necesario es mucho menor que en áreas con elevaciones relativamente uniformes, como es el caso de las tierras bajas de Centro América.

En segundo lugar, los vínculos juegan un papel potencialmente importante para hacerle frente al cambio climático al mantener la continuidad de las poblaciones de especies a través de su *rango geográfico actual*, maximizando la habilidad de las especies de tener continuidad dentro de aquellas partes de su rango en donde las condiciones climáticas puedan seguir siendo las apropiadas. La redistribución dentro de un rango existente es mucho más factible que los cambios o desplazamientos a nuevas áreas.

En tercer lugar, los vínculos también juegan un papel para hacerle frente al cambio climático al interconectar reservas existentes y áreas protegidas a fin de maximizar la resistencia de la red actual de conservación. Estos vínculos que mantienen grandes hábitats contiguos o que mantienen la continuidad de varias reservas a lo largo de un gradiente ambiental son los más propensos a ser valiosos en este sentido. Es más probable que las poblaciones grandes y aquellas que se extienden a través de áreas ambientalmente diversas tengan una capacidad poblacional y genética mayor para responder a condiciones cambiantes.

A pesar de la incertidumbre que existe acerca de la naturaleza y magnitud del futuro cambio climático y sus impactos potenciales, es prudente mantener y restituir vínculos entre hábitats, puesto que este tipo de medidas aporta beneficios para la conservación, independientemente del resultado del cambio climático.

5. Recomendaciones

En esta sección, presentamos un resumen de las recomendaciones claves para la próxima revisión sustantiva de la clasificación de los ecosistemas de Centro América, y un número de sugerencias específicas para satisfacer las necesidades de investigación y de estudio.

Revisión Mundial del Sistema UNESCO

Luego de la introducción inicial del sistema UNESCO en 1974, se han hecho varios intentos por mejorar el sistema, pero nunca de forma concertada a nivel internacional. Es recomendable tomar nota de las lecciones aprendidas después de un cuarto de siglo de su aplicación en distintas áreas del mundo, a fin de revisar minuciosamente el sistema y expandirlo a un sistema de clasificación que pueda incorporar todos los ecosistemas de la tierra, incluyendo los ecosistemas acuáticos.

Mayor Definición de los Ecosistemas Acuáticos

Como fuera discutido en algún grado de detalle en la sección principal del informe, el sistema UNESCO, de manera imperfecta, toma en consideración los ecosistemas acuáticos de agua dulce y los marinos. En el contexto de este proyecto, tomamos algunas medidas para la incorporación de dicha información en un sistema global de clasificación. Sin embargo, queda mucho por hacer.

La incorporación de las formaciones coralinas parece particularmente importante, pero no pudo llevarse a cabo de manera apropiada en el transcurso de este proyecto. Los corales, siendo animales sesiles, parecerían ser identificadores biológicos apropiados para los ecosistemas.

Guzmán y Guevara (1993, 1998) indican que, en términos cuantitativos, la diferenciación de tipos de ecosistemas puede hacerse únicamente entre corales que dan al mar (expuestos, dinámicos) y corales de sotavento (protegidos, más tranquilos). La clasificación práctica de Mumba (1999) estaba basada en condiciones geomorfológicas de los sustratos, en combinación con su exposición a corrientes y a las olas. Guzmán ha aplicado una clasificación supervisada para Bocas del Toro que parece prometedora para la clasificación de al menos unas cuantas clases de ecosistemas.

Sin embargo, no encontramos una metodología útil (en el contexto de una metodología de clasificación basada en satélites) para distinguir entre los diferentes arrecifes de corales, en base a sus diferencias estructurales visibles. Se requerirá más trabajo para tratar apropiadamente este punto.

Vale la pena hacer notar que, por lo menos para fines de análisis de las prioridades de conservación de los ecosistemas, los ecosistemas coralinos de América Central probablemente no necesiten ser subdivididos, puesto que todos son de tanto valor que podemos afirmar unilateralmente que su conservación es de alta prioridad.

Mayor Revisión del Sistema Centroamericano de Clasificación UNESCO

En la sección principal del reporte, hicimos referencia en varias ocasiones a las áreas en que la adaptación centroamericana del sistema UNESCO se queda corta o necesita ser trabajada en mayor detalle

Un ejemplo es el de los *bosques de pino en Honduras*, que fueron sumamente difíciles de clasificar (problemas similares se presentaron en los otros países pero fueron más graves en Honduras).

En el centro del país, la mayoría de las áreas de pino están sujetas a actividades de pastoreo y a quemadas estacionales. Podría argumentarse que pueden clasificarse como ecosistemas naturales intervenidos o como sistemas productivos. El argumento para la clasificación de natural intervenido es que tanto los gramíneos como los árboles se propagan espontáneamente. Sin embargo, los efectos combinados del pastoreo, las quemadas intencionales, y la tala ocasional de árboles son de una naturaleza tan intensa y a la vez manejada, que bien podrían caracterizarse estas áreas como sistemas extensivos de producción agrícola.

Tanto la distintividad biológica limitada como el estado severamente afectado de los pinos en grandes partes del país deben tomarse en cuenta al realizar un análisis de representación/brecha.

Extensión a Otras Áreas

Debido a su proximidad geográfica con México y al hecho de que comparte el Corredor Biológico Mesoamericano con Centro América, parece particularmente urgente que las clasificaciones de los ecosistemas de Centro América y del sur de México sean conciliadas y los ecosistemas clasificados bajo un mismo sistema. Exhortamos a que los mapas existentes de los ecosistemas en México (todo México ha sido mapeado a una escala de 1:250,000) sean evaluados para determinar el grado en que los mapas de estas dos áreas puedan ser fusionados o por lo menos compatibilizados.

También recomendamos que el método sea aplicado en otros lugares en Sur América, y que los usuarios se organicen para que conjuntamente desarrollen más la metodología.

Finalmente, vale la pena mencionar el hecho de que, a pesar de que Costa Rica fue mapeada a una escala de 1:250,000 en el transcurso de este proyecto, actualmente se están llevando a cabo esfuerzos, liderados por INBio y el SINAC, por mapear

enteramente los ecosistemas de ese país a una escala de 1:50,000. Alrededor de la mitad del país ya ha sido mapeado por este ambicioso proyecto. Sería deseable continuar con algún nivel de coordinación entre los esfuerzos nacionales y los regionales para asegurar sistemas interoperables de clasificación.

Debe llamarse la atención al hecho de que dentro de la región centroamericana, el foco de atención del actual proyecto de mapeo eran los hábitats naturales. Las áreas que están clasificadas con diferentes grados de intervención humana todavía son, en nuestra opinión, ecosistemas naturales funcionales. A fin de facilitar aún más la planificación del uso de la tierra en la región, sería útil extender el proyecto de mapeo al istmo entero, incluyendo todas las áreas con intervención humana.

Consideraciones Biogeográficas

Como se explicara en mayor detalle en la Sección 4, queda mucho por hacer en el área de la incorporación de distinciones regionales (biogeográficas o de otra índole) en el sistema de clasificación.

Sería particularmente interesante volver a revisar el enfoque de ecoregión, tal y como ha sido aplicado en Centro América, para determinar si dicha clasificación podría ser útil para distinguir entre tipos de ecosistemas en la región, y para determinar si las ecoregiones mismas podrían ser mejor definidas usando los datos de este proyecto.

Usos Adicionales de la Base de Datos

El Mapa de los Ecosistemas de América Central y la Base de Datos de Centro América para el Monitoreo han sido diseñados para servir como línea de base para el monitoreo de la biodiversidad y del ambiente en América Central. En el transcurso de este proyecto, la Base de Datos de Centro América para el Monitoreo se ha centrado en la descripción de ecosistemas y especies sesiles.

Para mejorar su utilidad para un programa global de monitoreo, deben agregarse parámetros que se centren en aquellos procesos que causan cambios en las especies y sus hábitats. Además, necesitan agregarse elementos para la fauna y elementos acuáticos sumergidos.

Recomendamos que la CCAD y los países miembros integren tanto el mapa como la base de datos en un sistema de monitoreo coordinado a nivel regional que permita el intercambio entre países participantes.

Aspectos Ictiológicos

Como se mencionara en el texto, no pudimos clasificar los sistemas de agua abierta, dada la ausencia de vegetación. Una alternativa podría ser el depender de elementos fáunicos, preferiblemente macrofauna (el plancton probablemente podría ser útil, pero dada la dificultad de los requerimientos de identificación, no ha sido

considerado). Entre los elementos fáunicos totalmente acuáticos, los peces, algunos crustáceos y algunos moluscos son los taxa más conspicua. De éstos, la fauna ictiológica es la mejor conocida en la región, y cuenta con inventarios nacionales para cada país de la región: Panamá (Hildebrand 1938), Costa Rica (Bussing 1967), Nicaragua (Villa 1982), Honduras (Martin 1972), y Belice (Greenfield & Thomerson 1997). Myers (1966) considera a los peces de agua dulce como los mejores indicadores para patrones zoogeográficos, puesto que es muy difícil para ellos cruzar las barreras marítimas y grandes cuencas divisorias.

Los peces pueden considerarse como (a) peces de agua dulce, primordialmente, (b) peces de agua dulce, secundarios, (c) peces facultativos de agua dulce, y (d) peces periferales de agua dulce, de conformidad con la creciente tolerancia salina. Martin (1972) claramente muestra conjuntos distintivos de distribución de especies para ríos y estuarios de tierras bajas, sistemas de ríos de la cuenca media hasta los 1,000 metros, y sistemas de cuencas altas que ocurren mayormente sobre los 1,000 metros. Con los datos disponibles y los análisis realizados por Martin (1972), Villa (1982) y Greenfield y Thomerson (1997), nosotros sugerimos que los datos para los peces de Centro América pueden ser una base valiosa para distinguir entre algunos ecosistemas acuáticos. Esta es una área interesante para profundizar.

Como parte de nuestra contribución a este esfuerzo, uno de nosotros (Vreugdenhil) ha recopilado listados globales de especies de peces de agua dulce para cada uno de los países de la región, usando la clasificación mencionada anteriormente. Este listado no existía anteriormente y será un punto de partida muy útil para la determinación de la utilidad de los datos relacionados con los peces para la definición de clases de ecosistemas de agua abierta. La lista puede accersarse en el sitio web del WICE: http://birdlist.org/cam/central_america.htm.

Características Biológicas Unicas

Es necesario realizar más estudios para determinar si las clases de ecosistemas, tal y como se definen en este proyecto, definen de hecho comunidades ecológicas inconfundibles de flora y fauna que puedan ser unidades útiles en ejercicios de planificación para la conservación a largo plazo. Véase el texto principal para una discusión más detallada y algunas sugerencias específicas.

Mantenimiento del Grupo de Trabajo de los Ecosistemas

El proyecto de mapeo ha juntado a un grupo de profesionales altamente calificado que, en su conjunto, representan una fuente extraordinaria de conocimiento de la biodiversidad y de los ecosistemas de América Central. Recomendamos que este grupo se mantenga trabajando como un Grupo de Trabajo sobre el Tema Vegetación, y que pueda continuar proporcionando asistencia en el monitoreo, recopilación de datos, actualización del mapa de ecosistemas, etc.

Este grupo posiblemente pueda reunirse y mantenerse unido bajo la égida de la CCAD o del Proyecto Regional del CBM. Necesita ser expandido para incluir más elementos acuáticos y fáunicos.

Mantenimiento del Mapa de los Ecosistemas

Probablemente la recomendación más importante que podamos hacer es que los países centroamericanos, la CCAD y las instituciones donantes se comprometan a mantener, a largo plazo, el mapa de los ecosistemas de América Central.

El mapa regional integrado existe únicamente como una toma instantánea temporal, resultado de la fusión de siete mapas nacionales de ecosistemas a finales del 2000. Desde entonces, los países centroamericanos han continuado trabajando en sus mapas nacionales de conformidad con sus propias prioridades e intereses. Sin duda alguna, los mapas se seguirán actualizando y se seguirán usando en cada uno de los países.

Sin embargo, se requiere un esfuerzo mucho más grande para mantener la integración continua de los siete mapas nacionales. Esto se aplica y es sumamente importante para todos los objetivos originales de este proyecto de mapeo. Sin este esfuerzo, cada país procederá unilateralmente a modificar y a volver a mapear polígonos en áreas fronterizas, y la metodología misma evolucionará en diferentes direcciones. Dentro de unos años, será sumamente difícil, muy costoso y probablemente imposible volver a producir un mapa regional.

Recomendamos de la manera más enérgica posible que se tomen todas las medidas del caso para mantener el mapa regional, respetándose siempre los derechos y la soberanía de cada país de definir y mantener su propio mapa (algunos países pueden acordar enfoques ligeramente distintos para la presentación de sus datos, dependiendo de si es para fines nacionales o regionales). Algunas de estas medidas incluyen lo siguiente:

- El mantenimiento del Grupo de Trabajo sobre Vegetación
- El nombramiento de un punto focal oficial para el mapa nacional en cada país
- La institucionalización del mapa regional mediante un proceso centralizado que sea tanto costo-efectivo como altamente participativo
- Inversiones y esfuerzos continuos para afinar la metodología, asegurando la participación de todos los países
- La adquisición compartida de nuevas series de imágenes satelitales de toda la región
- La definición de un proceso que permita el flujo de datos de los países al mapa central, y para permitir que los datos fluyan fácilmente a los países
- Apoyo al uso del mapa y su base de datos para fines de programas nacionales y regionales de monitoreo.

Presentación del Mapa

La versión Arcview del mapa regional fue producida por el CATIE. El proceso se describe en algún detalle en el texto principal. El archivo Arcview en su totalidad puede ser descargado del sitio EROS (vinculado al sitio del Banco Mundial: www.worldbank.org/ca-env).

Este archivo es crítico para el análisis de la biodiversidad o de los ecosistemas desde una perspectiva regional. Utiliza proyecciones de forma tal que minimiza las distorsiones entre las diferentes áreas del mapa, si bien introduce otras distorsiones en la forma en que aparece el mapa, particularmente en los extremos norte y sur.

En el sitio EROS y en el sitio web del Banco Mundial pueden descargarse las 43 hojas cartográficas que conforman el mapa en su totalidad. Sin embargo, la utilidad de cualquier de estas hojas individuales es un tanto reducida en cualquier país porque tiene una proyección diferente a la que habitualmente se utiliza en los países. En el caso de algunos países, habrá otras distorsiones visibles en el mapa. El resultado es que, al sobreponer el mapa sobre cualquier otro mapa, como uno topográfico o de carreteras o el mapa nacional referencial, habrá discrepancias menores que en algunos casos podrían causar dificultades en la interpretación.

Recomendamos que un grupo regional de mapeo sea convocado y se tomen decisiones de cómo mejor distribuir un mapa regional a escala de 1:250,000, a fin de que sea de mayor utilidad para los países participantes. Lo más probable es que esto requiera un acuerdo sobre el sistema de proyección que puede utilizarse para el mapa regional, que al mismo tiempo pueda ser fácilmente convertido en una serie de proyecciones nacionales diferentes.