CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Tropical Agricultural Research and Higher Education Center

PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Socioeconomía Ambiental

Por

Efraín José Leguía Hidalgo

Turrialba, Costa Rica, 2006

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Socioeconomía Ambiental

FIRMANTES:

Dr. Bruno Locatelli
Consejero Principal

Dr. Francisco Alpizar
Miembro del Comité Consejero

Ph.D. Carlos Pérez
Miembro del Comité Consejero

M. Sc. Raffaele Vignola
Miembro del Comité Consejero

Ph.D. Glenn Galloway
Decano de la Escuela de Posgrado

Ing. Efrain José Leguía Hidalgo
Candidato

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres, Guillermo y Luisa, por todo lo que ellos significan para mí.

A mis hermanos Fulvio y Lidia por todo su apoyo y confianza.

A todas las personas que me alentaron y ayudaron, que confiaron en mí y que en algún momento me dijeron que se sentían orgullosos de mis logros, especialmente a todos los que formaron parte de mi familia durante estos dos años de estudios en el CATIE.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Bruno Locatelli por su apoyo, guía y confianza.

A los miembros de mi comité e integrantes del proyecto TROFCCA por haberme brindado la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

A Pablo Imbach, por su apoyo en el análisis de datos en SIG.

A la Comisión Nacional de Energía de Nicaragua (CNE), Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua (MARENA), Sistema Nacional de Información Ambiental.de Nicaragua (SINIA). Empresa Generadora Hidroeléctrica S. A. (HIDROGESA) por todo su apoyo e interés en el trabajo.

BIOGRAFÍA

El autor nació en la ciudad de Iquitos, Perú el 19 de marzo de 1976. Los primeros años de educación primaria los realizó en su ciudad natal, trasladándose en el año de 1984 a la ciudad de Pucallpa donde completó su educación escolar y universitaria. En 1998 se graduó con el título de Ing. Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali. Desde 1998 hasta 2003 se desempeñó como asistente de investigación y miembro del equipo de investigadores nacionales del Centro Internacional de Agricultura Tropical en Pucallpa (CIAT-Pucallpa). Aquí trabajó en proyectos de generación participativa de tecnologías para pequeños productores y el análisis socioeconómico de los sistemas de producción a nivel de pequeño productor. Realizó estudios de microeconomía y macroeconomía en la sesión de otoño e invierno 2003-2004 en la Universidad Laval en la provincia de Québec, Canadá. Empezó la maestría en socioeconomía ambiental con la promoción 2005-2006 en el Centro de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica, logrando graduarse con el primer puesto en la mencionada especialidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTOS IV
BIOGRAFÍA V
CONTENIDO VI
RESUMEN VIII
SUMMARY IX
ÍNDICE DE CUADROS X
ÍNDICE DE FIGURAS XI
1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 Cambio climático 1
1.2 Sector hidroenergético 4
1.3 Objetivos del estudio 7
1.4 Hipótesis del estudio 7
2 El caso de estudio 8
2.1 Generalidades sobre Nicaragua 8
2.2 Sector hidroenergético Nicaragüense 9
3 METODOLOGÍA 12
3.1 Vínculos entre los servicios ecosistémicos del bosque y la sociedad 12
3.2 Definición de tipologías 14
3.3 Definiciones espaciales 17
3.4 Servicios ecosistémico: producción y utilidad 19
3.5 Caracterización de la relación entre fuentes y usuarios de los servicios ecosistémicos 21
3.6 Evaluando la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético 22
3.7 Construcción de los mapas 26
4 DATOS 31
4.1 Mapas de microcuencas de Centro América 31
4.2 Mapa de uso actual del suelo 31
4.3 Amenazas a eventos climáticos 32
4.4 Ubicación y capacidad instalada de las centrales hidroeléctricas 34
4.5 Matriz de capacidad potencial de los usos del suelo de generar servicios ecosistémicos 34
4.6 Matriz de utilidad de los servicios ecosistémicos para los usuarios 35
5 RESULTADOS 37
5.1 Ubicación de las centrales hidroeléctricas y cobertura de usos de suelo 37

5.2 Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas 43
5.3 Sensibilidad a eventos climáticos 47
5.4 Importancia de los ecosistemas para las centrales hidroeléctricas 50
5.5 Bosques importantes y áreas protegidas 57
6 DISCUSIÓN 60
6.1 Ubicación de las centrales hidroeléctricas y cobertura de usos del suelo 60
6.2 Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas 61
6.3 Sensibilidad a eventos climáticos 63
6.4 Importancia y participación de los ecosistemas para las centrales hidroeléctricas .. 64
6.5 Bosques importantes y áreas protegidas 65
6.6 Aspectos metodológicos 66
7 CONCLUSIONES 70
8 RECOMENDACIONES 71
9 BIBLIOGRAFÍA 73
ANEXOS 81

RESUMEN

Los bosques tropicales producen servicios ecosistémicos (SE) importantes para la generación de hidroelectricidad. Nicaragua está promoviendo la utilización de recursos renovables, principalmente hídricos, para la generación de electricidad. El presente trabajo tiene como objetivo identificar bosques proveedores de SE importantes para la adaptación del sector hidroeléctrico al cambio climático en Nicaragua. Se desarrolló un modelo que utilice herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). El modelo tomó en cuenta criterios de vulnerabilidad por microcuenca, ubicación de las centrales hidroeléctricas de acuerdo a su capacidad instalada proyectada (MW), usos del suelo (ha), red de drenajes y microcuencas, además, la matriz de producción de SE por los usos de suelo y la matriz de utilidad de los SE para las centrales hidroeléctricas. El estudio demostró que el 35% de las áreas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas están ubicadas en zonas de muy alta sensibilidad a eventos climáticos. Aproximadamente 8 300 km^2 y 1 425 km^2 de bosques y cultivos perennes respectivamente se consideran como de alta a muy alta importancia para las centrales hidroeléctricas. Estos bosques se ubican mayormente en la cuenca del Río Grande de Matagalpa en la región Central y al norte en la cuenca del río Coco. En cuanto a los cultivos perennes, las áreas priorizadas coinciden con las zonas de producción de café bajo sus diferentes sistemas. Por otro lado, menos del 10% de los bosques que producen SE para las centrales hidroeléctricas se encuentran dentro de áreas protegidas. Los resultados evidenciaron la necesidad de vincular los usuarios de los SE con los bosques tropicales, para mejorar la capacidad adaptativa de las zonas de interés y asegurar el flujo de SE ecosistémicos a futuro.

SUMMARY

Tropical Forests produce important ecosystem services for hydroelectric power generation. Nicaragua is promoting investments for utilizing renewable sources of energy, particularly hydroelectric power generation. The objective of this study was to identify forest ecosystems providing ecosystem services relevant for climate change adaptation of the hydroelectric sector in Nicaragua. A model based on geographical information system was developed. This model considers vulnerability criteria at the watershed level, position of the hydroelectric plants according to the projected installed capacity (MW), land uses (ha), drainage system and micro watersheds, a matrix relating ecosystem services production and land use, and a matrix of utility of ecosystem services for hydroelectric plants. The results of the study demonstrated that 35% of upstream forest landscapes relevant for hydroelectric power generation are located in areas with high sensibility to climate events. Approximately 8,300 and 1,425 km^2 of forest landscapes and perennial crops, respectively, are considered of high and very high importance for ecosystem services to hydroelectric power projects or plants. Most forest ecosystems relevant for hydroelectric sector are located in the Rio Grande de Matagalpa watershed, in the central region of the country, and the Rio Coco watershed. Agroforestry systems based on coffee were the most important perennial crops producing ecosystem services. Additionally, <10% of forest landscapes producing ecosystem services for hydroelectricity are outside the protected areas system of Nicaragua. The results of this study indicate that it is important to link ecosystem service users with the forest ecosystem providing those services, thus improving the adaptive capacity of the ecosystems of interest and the provision of ecosystem services for the future.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Tipologías y definiciones 14
Cuadro 2: Datos espaciales 17
Cuadro 3: Matriz de generación de servicios ecosistémicos por uso de suelo 19
Cuadro 4: Matriz de utilidad 20
Cuadro 5: Escala de evaluación para la utilidad de los servicios ecosistémicos 21
Cuadro 6: Números fuzzy 29
Cuadro 7: Usos de la tierra y descripción 32
Cuadro 8: Usos del suelo y su capacidad de producir servicios ecosistémicos 34
Cuadro 9: Utilidad de servicios ecosistémicos para centrales hidroeléctricas 35
Cuadro 10: Usos del suelo en las cuencas arriba de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua. 43
Cuadro 11: Áreas de usos del suelo importantes para los embalses en Nicaragua. 45
Cuadro 12: Áreas de usos del suelo importantes para las centrales a filo de agua en Nicaragua 46
Cuadro 13: Sensibilidad a eventos climáticos. 47
Cuadro 14: Áreas protegidas y bosques importantes para las centrales hidroeléctricas. 57
Cuadro 15: Criterios utilizados en la valoración del vínculo entre intereses socioeconómicos y SE…. 85
Cuadro 16: Intereses nacionales documentados 86
Cuadro 17: Bienes y servicios ecosistémicos considerados de interés 87
Cuadro 18: Relaciones entre intereses nacionales y SE que prestan bosques y SAF tropicales 89
Cuadro 19: Intereses nacionales ordenados por importancia. 90
Cuadro 20: SE ordenados por importancia 91
Cuadro 21: Lista de sectores socioeconómicos importantes para el presente trabajo. 92
Cuadro 22: Lista de BSE importantes para el presente trabajo. 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución reciente de la generación neta de electricidad en Gwh. 10
Figura 2: Vínculo entre los ecosistemas y la sociedad 13
Figura 3: Énfasis en los usuarios y el origen de los servicios ecosistémicos 22
Figura 4: Énfasis en los ecosistemas y las unidades espaciales que consumen los servicios ecosistémicos generados en ellas. 25
Figura 5: Herramientas y organización secuencial del trabajo. 27
Figura 6: Transformación de términos lingüísticos a números fuzzy 28
Figura 7: Número trapezoidal 29
Figura 8: Centro de gravedad 30
Figura 9: Cuencas hidrográficas y ubicación de las centrales hidroeléctricas 37
Figura 10: Cobertura forestal y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua 38
Figura 11: Cobertura de cultivos anuales y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua 39
Figura 12: Cobertura de cultivos perennes y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua 40
Figura 13: Cobertura de pasturas y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua ... 41
Figura 14: Usos del suelo aguas arriba de centrales con embalses en Nicaragua 44
Figura 15: Usos del suelo aguas arriba de las centrales a filo de agua en Nicaragua 47
Figura 16: Sensibilidad a eventos climáticos 49
Figura 17: Ecosistemas importantes para las centrales hidroeléctricas 51
Figura 18: Bosques importantes para las centrales hidroeléctricas. 52
Figura 19: Cultivos perennes importantes para las centrales hidroeléctricas. 53
Figura 20: Participación de los bosques en la importancia de los ecosistemas 55
Figura 21: Participación de los cultivos perennes en la importancia de los ecosistemas 56
Figura 22: Áreas protegidas y bosques importantes para las centrales hidroeléctricas 59
Figura 23: Sensibilidad a inundaciones 97
Figura 24: Sensibilidad a sequías 97
Figura 25: Sensibilidad a deslizamientos 98

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio climático

El efecto invernadero es un proceso natural que se debe a la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera del planeta, los cuales son necesarios para mantener una temperatura propicia para el desarrollo de la vida en la Tierra (IPCC 2001a, b). Sin embargo, con el inicio de la revolución industrial, las actividades humanas han contribuido al incremento de las concentraciones GEI en la atmósfera, hecho que está provocando un acelerado aumento en la temperatura del planeta, que según el IPCC (2001) no tiene precedentes en los últimos 1000 años. Como consecuencia de esto, el comportamiento de eventos climáticos como las precipitaciones, temperatura, humedad, olas de sequía, entre otros, están sufriendo alteraciones e impactando a diferentes sistemas en el planeta (Alley *et al.* 2005). El comportamiento de los diferentes parámetros climáticos será influenciado de dos maneras: Primero, habrá cambios graduales en el promedio de los parámetros climáticos tales como precipitación anual o temperatura. Segundo, se incrementarán la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (Mirza 2003).

El cambio climático tiene impactos negativos a diferentes niveles y sectores. Por ejemplo, la variabilidad climática y los eventos climáticos extremos han causado pérdidas económicas substanciales a países en vías de desarrollo (Markandya y Halsnaes 2002). Según Freman (2001) en la década pasada, los países en desarrollo gastaron US$ 35 billones por año en daños por desastres naturales.

Son muchos los esfuerzos que se están implementando para luchar contra el problema del cambio climático sus causas y consecuencias (Tompkins y Adger 2005). Estas incluyen medidas de mitigación que buscan reducir las emisiones de GEI a nivel mundial, principalmente en países industrializados. Uno de los principales acuerdos de la Convención

Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) es el Protocolo de Kioto, herramienta normativa de carácter vinculante que define, entre otras cosas, las responsabilidades de los países industrializados con respecto a las emisiones de GEI, los límites de emisiones, plazos y mecanismos para cumplir los compromisos de reducción de emisiones de GEI, entre otros (Yamin y Depledge 2004).

Sin embargo, los esfuerzos de mitigación no son suficientes para hacer frente a los efectos del cambio climático, debido a que aun en un escenario optimista en el que todos los países dejen de emitir GEI, el proceso de calentamiento global seguirá por muchos años debido al potencial de calentamiento y de permanencia en la atmósfera de los GEI (Wigley 2005). En este sentido, las medidas de adaptación están tomando cada vez mayor importancia a nivel mundial y se están integrando a las políticas de desarrollo nacional (Wheaton y Maciver 1999, Handmer *et al.* 1999, IIED 2003, Swart *et al.* 2003).

Las medidas de adaptación son muy importantes debido a que la variación climática y el cambio climático están ocasionando miles de muertes, pérdidas materiales valoradas en miles de millones de dólares (Freman 2001), y también están impactando a los ecosistemas naturales alrededor del mundo (IPCC 2001b). La UNFCCC reconoce la necesidad de adaptación de las sociedades al cambio climático y especifican que la asistencia financiera será disponible para los países en desarrollo (articulo 4.4 UNFCC, Mirza 2003).

Por otro lado, los ecosistemas brindan a las poblaciones humanas diferentes combinaciones de bienes y servicios. Su capacidad para hacerlo depende de complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que a su vez se ven afectadas por las actividades humanas (*Millenium Ecosystem Assessment* 2005). Sin embargo, muchas veces se sub valúa la verdadera importancia de los ecosistemas, como cuando se restringen los beneficios del bosque a la actividad maderera. Incluir servicios locales y globales tales como el control del

clima mediante la absorción (secuestro) de dióxido de carbono, protección de las fuentes de agua (cuencas), control de la erosión y recreación hace de los bosques un recurso de mayor valor para la sociedad (Tobias y Mendelshon 1991, Balick y Mendelshon 1992, *Millenium Ecosystem Assessment* 2005).

Según el tercer informe del IPCC (2001), los ecosistemas forestales serán fuertemente impactados por el cambio climático. Los bosques tropicales cumplen un papel especial en la conservación de la biodiversidad, las estrategias de medios de vida de las sociedades locales y de los diversos sectores económicos; tales como, la industria maderera, el sector ecoturismo, la industria farmacéutica, entre otros (Coomes y Burt 2001, Guariguata y Kattan 2003, Jiménez y Faustino 2005). Sin embargo, los ecosistemas forestales tropicales han sido expuestos a diferentes presiones. El crecimiento poblacional y las políticas nacionales de promoción de actividades productivas vinculadas a tendencias de mercados, han resultado en la degradación del recurso en varias zonas a nivel mundial (Coomes y Burt 2001).

Son diversos los sectores que hacen uso de los bienes y servicios ecosistémicos producidos por los bosques tropicales, así por ejemplo, la industria maderera y farmacéutica se benefician de productos maderables y no maderables, tales como, las fibras, raíces, resinas (Costanza 1997, Daily *et al.* 1997). Otros como el sector salud, energía y ecoturismo se benefician de los recursos hídricos y el paisaje; en tal sentido, servicios ecosistémicos como el suministro de agua de calidad, la reducción de la sedimentación, la regulación de caudales y la belleza escénica, son de vital importancia para el buen funcionamiento de tales sectores (*Millenium Ecosystem Assess*ment 2005). Por otro lado, 90% de las personas más pobres a nivel mundial basan sus estrategias de vida en los ecosistemas forestales (Scherr *et al.* 2005).

En un contexto de cambio climático, los servicios ecosistémicos contribuyen a reducir la vulnerabilidad de las sociedades (IPCC 2001, *Millenium Ecosystem Assessment* 2005, Metzer *et*

al. 2006). La presión sobre los ecosistemas forestales, ya sea por factores socioeconómicos o debido al cambio climático tendrá un impacto sobre la estructura, composición y funcionamiento de los bosques, amenazando el flujo sostenible de bienes y servicios de ecosistemas críticos para sociedades vulnerables (FAO 1997, Metzer 2006).

1.2 Sector hidroenergético

El desarrollo del sector energético es clave para el progreso de los países, principalmente aquellos en vías de desarrollo (Keon 2005, Yuksek *et al.* 2006). El consumo de energía eléctrica a nivel mundial se incrementará en aproximadamente 73% para el periodo 1999-2020, esperándose que los derivados del petróleo sean los más usados para cubrir esta demanda, lo que a su vez ocasionaría un incremento en las emisiones de GEI (Klimpt *et al.* 2002). Las centrales hidroeléctricas son una alternativa para la generación de energía con base en combustibles fósiles (Reddy *et al.* 2006, Klimpt *et al.* 2002).

La hidroenergía es la fuente renovable más usada para la generación de electricidad (Frey y Linke 2002, Paish 2002) y juega un papel importante en muchas regiones del mundo. Actualmente existen más de 150 países generando hidroelectricidad. La Revista Internacional de Hidroenergía y Presas (Yuksek *et al.* 2006) reporta que al menos el 50% de la oferta de energía proviene de fuentes hídricas en 63 países, y al menos el 90% en 23 países. Así mismo, existen cerca de 10 países que generan toda su energía eléctrica con base en recursos hídricos.

El sector hidroenergético es clave para el desarrollo del istmo centroamericano (CEPAL 2004). Costa Rica ha aprovechado muy bien su potencial hidroenergético y va a la cabeza en esta región. El 98% de la energía que se produce en Costa Rica proviene de fuentes renovables, siendo el recurso hídrico el más importante (CEPAL 2006). Nicaragua es un país que está apostando por acortar la brecha entre la demanda y la oferta de energía a través de la

promoción de la inversión en fuentes renovables, principalmente la hidroenergía a través de proyectos de pequeña, mediana y alta capacidad instalada (CNE 2005).

La cantidad de electricidad generada por una central hidroeléctrica depende de la cantidad total de agua por año y la distribución temporal del flujo de agua (Guo *et al*. 2001). El cambio climático afectará el patrón de precipitaciones a nivel regional y aumentará la vulnerabilidad del sector hidroenergético. A corto plazo, eventos extremos como inundaciones, deslizamientos, huracanes, entre otros, pueden ocasionar severos daños en construcciones e instalaciones (IPCC 2001).

En Centroamérica los ecosistemas forestales juegan un rol importante en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos que son de gran importancia para el sector hidroenergético (Pagiola 2002). Sin embargo, la naturaleza y la magnitud de este rol aun es poco claro (Kaimowitz 2000, Bruijnzeel *et al.* 2004, Bruijnzeel 2004). Los ecosistemas forestales contribuyen a regular los flujos de agua en las cuencas (caudales mínimos, máximos y agua total) y reducen los sedimentos en las vías de aguas y en los embalses (Hewlett 1982, Guo *et al.* 2000, Pagiola 2002, Millenium Ecosystem Assessment 2003).

Guo *et al.* (2000) reportan diferencias substanciales en la capacidad de regulación de los flujos de agua en combinaciones de vegetación-suelo-pendiente durante las épocas lluviosas y secas en China. La generación de energía eléctrica se ve afectada por la variación de los flujos de agua durante el año. En meses secos con escaza precipitación en las zonas de recarga, la capacidad de producción de las centrales hidroeléctricas es sub utilizada. Mientras que en épocas lluviosas, la sobrecarga de agua en los embalses ocasiona la necesidad de drenar el exceso ocasionando que el desnivel en el embalse sea mínimo reduciendo la capacidad de generar energía (Guo *et al.* 2000).

Por otro lado, la sedimentación constituye un gran problema para los embalses. Vincenzi (2001) reporta que los embalses del río Reventazón en Costa Rica reciben alrededor de 1 a 2 millones de toneladas de sedimentos al año. Para evitar la disminución del volumen útil del embalse se realizan trabajos de desembalse, lo que significa al país, cuantiosas pérdidas económicas y el reemplazo del 38% de la energía hidroeléctrica generada en el país por otras fuentes más costosas (Vincenzi 2001).

Los servicios ecosistémicos hídricos de los bosques tropicales, tales como, la reducción de la sedimentación, reducción de caudales máximos, conservación de caudales mínimos y el agua total en la cuenca contribuyen a la sostenibilidad del sector hidroeléctrico y estos son de gran importancia en un contexto de adaptación al cambio climático (IPCC 2001, Alcamo y Bennett 2003, *Millenium Ecosystem Assessment* 2005).

1.3 Objetivos del estudio

Debido a los problemas mencionados, el trabajo de investigación buscará:

Identificar los bosques proveedores de servicios ecosistémicos importantes para la adaptación del sector hidroenergía al cambio climático en Nicaragua.

1.3.1 Objetivos específicos

1. Generar una metodología de identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua.

2. Generar mapas de los ecosistemas, bosques y cultivos perennes importantes para la generación de hidroelectricidad.

1.4 Hipótesis del estudio

Las hipótesis referentes a la importancia de los bosques para el sector hidroeléctrico en un contexto de cambio climático son los siguientes:

1. Las centrales hidroeléctricas en Nicaragua se encuentran en áreas sensibles a muy sensibles a eventos climáticos.
2. Los bosques ubicados al norte y en la parte central de la vertiente atlántica son importantes para la adaptación del sector hidroenergético en Nicaragua.
3. La contribución de los ecosistemas a la adaptación del sector hidroeléctrico en Nicaragua se debe principalmente a los bosques tropicales y en menor grado a los cultivos anuales, perennes o pasturas.
4. La mayoría de los bosques importantes para la generación de hidroenergía en Nicaragua se encuentran fuera de áreas protegidas.

2 EL CASO DE ESTUDIO

2.1 Generalidades sobre Nicaragua

Nicaragua está ubicada al centro del istmo centroamericano y limita por el norte con Honduras, al sur con Costa Rica, al este con el mar Caribe y al oeste con el Océano Pacífico. Nicaragua se extiende sobre una superficie de 130 374 km^2, correspondiendo 120 349 km^2 a tierra firme y 10 034 km^2 a lagos y lagunas costeras (Incer 1995). INEC (2005) estima la población en 5 142 098 habitantes, lo que equivale a una densidad de 39.4 hab/ km^2. El 56 % de la población vive en zonas urbanas. La capital, Managua, tiene una población de 1 262 978 habitantes y en ella se concentra el poder económico y político de Nicaragua (INEC 2005). En el plano administrativo y político, Nicaragua se divide en 15 departamentos y 2 regiones autónomas. Los departamentos se dividen en municipios, que en la actualidad suman 154 (MARENA 2001).

El 63% de la superficie terrestre de Nicaragua es plana o ligeramente ondulada, y tan solo el 17% alcanza alturas entre los 501 a más de 1 500 msnm (MARENA 2001). Por sus características climáticas, edafológicas y topográficas, Nicaragua se divide en tres regiones naturales: Pacífica, Central y Atlántica. La región Pacífica representa el 19% de la superficie del territorio nacional, esta región más desarrollada y densamente poblada (132 hab/ km^2) y aporta el 75% del PBI nacional. La región Central ocupa el 39% de la superficie territorial nacional, con una densidad de 31 hab/ km^2 y aporta el 24% del PBI. Finalmente, la región Atlántica comprende el 42% del territorio nacional; sin embargo, es la de menor densidad poblacional y solo contribuye con el 1% al PBI (INEC 2005, MARENA 2001).

Casi el 60% de la superficie territorial es de vocación forestal; sin embargo, la actividad silvícola no está desarrollada; en su lugar, la actividad ganadera y el cultivo de granos básicos con sistemas de producción tradicionales de tipo extensivos y los cultivos de exportación que

utilizan métodos más tecnificados e intensivos, ocupan gran parte de esta área; siendo este sector el de mayor importancia para la economía nicaragüense en términos de PBI, ocupación de la población económicamente activa (PEA) y la generación de divisas por exportaciones (INEC 2005, MARENA 2003).

Los procesos de expansión de la frontera agrícola, y la actividad ganadera basados en sistemas de producción extensivas poco sostenibles y ambientalmente dañinas están presionando los bosques (Steinfeld 2000, Dagang y Nair 2003, FAO 2003). Existe un área considerable de pastizales de aproximadamente 38% de la superficie territorial (MARENA 2003). La extracción selectiva de árboles para la madera, leña u otros productos, es otra de las actividades que ejercen presión sobre los bosques (FAO 2003). Las áreas de mayor deforestación se encuentran en la vertiente pacífica, mientras que las cuencas ubicadas en la vertiente atlántica aun mantienen entre 60 y 90% de cobertura boscosa (MARENA 2003).

Debido a su ubicación, Nicaragua está frecuentemente afectada por fenómenos naturales. Los inadecuados patrones de ocupación, usos de la tierra y el deterioro ambiental contribuyen al incremento de la vulnerabilidad a eventos naturales (MARENA 2001).

2.2 Sector hidroenergético Nicaragüense

La Comisión Económica para América Latina (CEPAL 2006) estimó la capacidad instalada total de Nicaragua (incluye todas las fuentes de generación) en 742,2 MW de potencia para el año 2005[1]. Este país muestra uno de los índices más bajos de cobertura eléctrica en América Central (apenas el 52% a diciembre del 2003) y además, es un país dependiente de los hidrocarburos para la generación de energía, mientras que el aporte del sector hidroenergético constituye apenas el 14 % de la capacidad instalada. La demanda

[1] Cifras preliminares

máxima de energía en Nicaragua se ha incrementado en el periodo de 1985 al 2005 a una tasa de 4%; sin embargo, la contribución del sector hidroenergético a la generación neta solamente ha incrementado un 1,8% durante este mismo periodo, tal como se muestra en la Figura 1. (CNE 2004, CEPAL 2003).

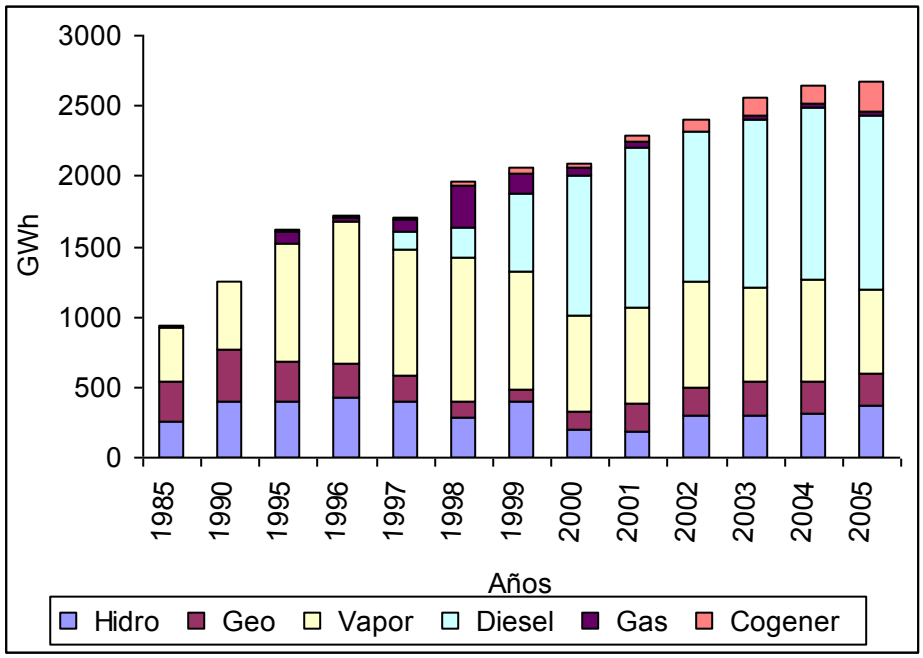

Figura 1. Evolución reciente de la generación neta de electricidad en Gwh.

Fuente: CEPAL 2006

Un aspecto importante contemplado en el plan de expansión del sector energético para Nicaragua es el reemplazo de los derivados del petróleo para la generación de electricidad por fuentes renovables, principalmente el recurso hídrico. Este cambio de tecnología implicará beneficios ambientales importantes, ya que actualmente el 81.7% de la capacidad total instalada corresponde a plantas térmicas (incluye geotérmicas y de cogeneración), haciendo al sector energía altamente dependiente de los derivados del petróleo (MARENA 2001). De completarse la construcción de todos los proyectos, Nicaragua tendría una capacidad instalada de 2 040 MW, cifra que sobrepasa el potencial hidroeléctrico bruto estimado en 1 760 MW, y

que solucionaría el problema de abastecimiento de energía eléctrica en el país; además, de impactar de manera positiva en la reducción de emisiones de GEI (MARENA 2001, CNE 2005).

Según la Comisión Nacional de Energía de Nicaragua (CNE 2005), el país posee un potencial hidroeléctrico bruto de 1 760 MW de los cuales solo se están aprovechando el 2,7%, teniendo como principales fuentes las cuencas del Río Grande de Matagalpa, Río Coco y Río San Juan. La mayor parte de los recursos hidroeléctricos se encuentran en la vertiente del Atlántico (94%). Actualmente, existen solo dos plantas hidroeléctricas en funcionamiento, la central de Santa Bárbara y Centro América, con una capacidad instalada total de 100 MW, ubicadas en los departamentos de Matagalpa y Jinotega respectivamente (CNE 2003).

Sin embargo, el gobierno a través de la CNE está haciendo esfuerzos para promocionar la inversión en fuentes renovables para la generación de energía eléctrica (La Gaceta 2003). En tal sentido se cuenta con proyectos de pequeña, mediana y gran capacidad.

El proyecto "desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de red" (CNE sf) es un esfuerzo del gobierno nicaragüense con apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente (GEF), con el fin de dotar de energía al sector rural que está fuera del sistema interconectado nacional y para favorecer las actividades productivas, reduciendo la generación de GEI originadas por el uso de combustibles fósiles. (CNE 2005). Entre los proyectos de mediana capacidad (entre 3 y 30 MW de capacidad instalada) la CNE maneja un portafolio de 24 centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada potencial de 484 MW. Mientras que la capacidad instalada potencial total de las grandes centrales (mayores a 30 MW de capacidad instalada) es aproximadamente 1 600 MW (CNE 2006).

3 METODOLOGÍA

3.1 Vínculos entre los servicios ecosistémicos del bosque y la sociedad

El marco metodológico del presente trabajo de investigación enfatiza los vínculos que existen entre los diferentes usos del suelo, principalmente los bosques y su capacidad de generar servicios ecosistémicos hídricos importantes para la generación de energía eléctrica (Troy *et al.* 2006). Los ecosistemas y/o usos del suelo tienen la capacidad de generar servicios ecosistémicos (regulación de caudales, reducción de la sedimentación, entre otros) a diferentes escalas (*Millenium Ecosystem Assessment* 2005). La sociedad está compuesta de una serie de actores y/o sectores socioeconómicos[2] que se benefician de estos servicios. En este trabajo el análisis se restringe al sector hidroenergético que obtiene utilidades del uso de los servicios ecosistémicos hídricos (ver anexo para mayores detalles del proceso de selección del sector hidroenergético). La figura 2 esquematiza de manera genérica los vínculos entre ecosistemas, servicios ecosistémicos y usuarios.

El proceso metodológico incluye los supuestos sobre:

- Tipos de usuario.
- Tipos de servicios ecosistémicos.
- Tipos de usos del suelo.
- Índices de vulnerabilidad.
- Producción de servicios ecosistémicos por uso del suelo.
- Utilidad obtenida por los usuarios de los servicios ecosistémicos.
- Relaciones espaciales entre usuarios y ecosistemas.

Estos supuestos se detallaran más adelante.

[2] Para fines prácticos un sector se define como un grupo de actores económicos y/o sociales que comparten un mismo interés en una determinada actividad de un país.

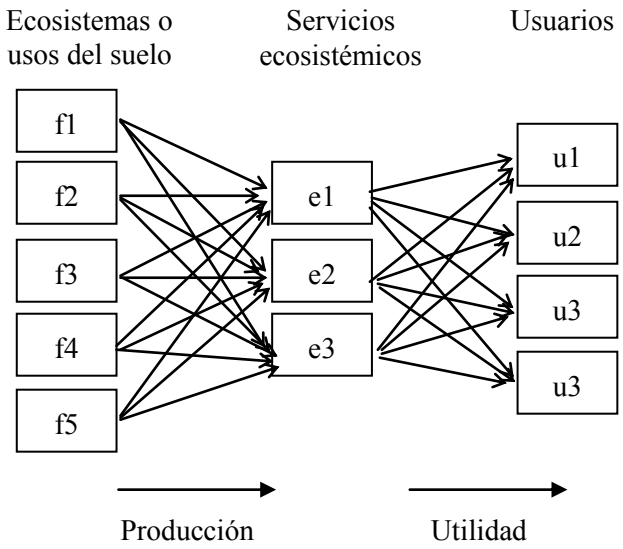

Figura 2: Vínculo entre los ecosistemas y la sociedad

Fuente: Locatelli *et al.* (sf)

La metodología que se plantea en esta investigación tiene raíz en los trabajos sobre transferencia de beneficios (Troy *et al.* 2006). Esta metodología es aplicable a cualquier servicio ecosistémico no rival, es decir cuyo uso no reduce la disponibilidad para otros actores.

Para una mejor comprensión, la metodología se ha organizado de la siguiente manera: En primer lugar se definirán las tipologías usadas en este trabajo y los datos espaciales colectados. Seguidamente se definirá la capacidad de los diferentes usos del suelo de generar servicios ecosistémicos y la utilidad de los servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas. Posteriormente, se explicarán las relaciones espaciales (origen o destino) entre oferta de servicios ecosistémicos y los usuarios. Finalmente, se presentará el procedimiento de cálculo de la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético.

3.2 Definición de tipologías

En la primera etapa del trabajo se define las tipologías que se usarán para identificar los diferentes componentes en estudio.

Cuadro 1: Tipologías y definiciones

Símbolo	Definición
S	División del espacio estudiado
s	Unidad espacial, una pequeña cuenca o celda ($s \in S$)
U	Tipología de Centrales hidroeléctricas
u	Tipo de central hidroeléctrica ($u \in U$)
E	Tipología de servicios ecosistémicos
e	Servicios ecosistémicos ($e \in E$).
F	Tipología de usos del suelo
f	Tipo de uso del suelo ($f \in F$)

Fuente: Locatelli *et al.* sf

Nota: "$s \in S$"; *s* es un elemento *S*

3.2.1 División del espacio estudiado

El presente trabajo de investigación se extiende a nivel nacional; sin embargo, la unidad elemental de análisis es la microcuenca. Para la división en microcuencas se usó el mapa de drenajes de Centroamérica elaborado por *The Nature Conservancy* (TNC 2007).

3.2.2 Tipología de centrales hidroeléctricas

Con base en la capacidad de almacenamiento de agua o la carencia de ella, se definieron dos tipos de usuarios de los servicios ecosistémicos generados por los ecosistemas de bosques tropicales. A continuación se hace una breve descripción de cada usuario.

- **Usuarios 1: Centrales hidroeléctricas con embalses.** Son estructuras diseñadas para retener grandes volúmenes de agua que luego por medio de la fuerza de gravedad, a través de un sistema de conducción (túneles, canales, tuberías, tanques de oscilación, etc.), llega a la casa de máquinas, lográndose convertir la energía potencial en energía cinética (de movimiento). Con su masa y velocidad, el agua hace girar las turbinas (tipo Pelton, Francis o Kaplan), ubicadas en casa de máquinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía rotacional. No se hará distinción entre embalses por su capacidad de almacenamiento de agua.
- **Usuarios 2: Centrales hidroeléctricas a filo de agua.** Utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento. También puede trabajar con sistemas de conducción que transforma la energía potencial y cinética.

3.2.3 Tipología de servicios ecosistémicos

Se hizo una búsqueda y revisión de reportes y publicaciones referentes a servicios ecosistémicos hídricos y su relevancia para la generación de hidroelectricidad (Guo *et al.* 2000, Vincenzi 2001, Bishop y Landel-Mills 2002, Pagiola 2002, *Millenium Ecosystem Assessment* 2005, CNE 2004, CNE 2005). Se discutieron estos reportes y se identificaron cuatro servicios ecosistémicos de relevancia para la generación de hidroelectricidad.

a) Reducción de sedimentos en las vías de aguas para disminuir el proceso de sedimentación en los embalses.

b) Reducción de caudales máximos en la cuenca disminuyendo el riesgo de crecientes repentinas e inundaciones.
c) Conservación de caudales mínimos en la cuenca garantizando un nivel mínimo de caudal durante todo el año.
d) Conservación de la cantidad total anual de agua de una cuenca

3.2.4 Tipología de usos del suelo

Debido a la cobertura nacional del trabajo de investigación se decidió generalizar las diferentes clases de bosques y tierras boscosas dentro de la categoría de bosques. Este mismo criterio se aplicó a los cultivos anuales, perennes y pasturas. De esta manera se consideran la siguiente tipología de uso del suelo.

a) Bosque
b) Cultivos anuales
c) Cultivos perennes
d) Pasturas
e) Otros usos de la tierra

La agrupación de usos del suelo en cinco categorías enmascara el aporte diferenciado de los diferentes usos del suelo al interior de las cinco categorías. Más adelante se describirán cada una de estas en detalle.

3.3 Definiciones espaciales

Cuadro 2: Datos espaciales

Símbolo	Definición	Unidades
Pres (*s,u*)	Presencia de un tipo de central hidroeléctrica u en la unidad espacial *s*	Capacidad instalada en MW
Vuln (*s*)	Vulnerabilidad de una unidad espacial *s*	Índice
Área (*s,f*)	Área de un uso del suelo *f* en una unidad espacial *s*	Índice

Fuente: Locatelli *et al.* sf

3.3.1 Presencia (s,u)

La presencia se definió como la existencia y el tamaño de un tipo de usuario de los servicios ecosistémicos, ya sea con embalse o a filo de agua en una unidad espacial (cuenca, microcuenca o celda). El proxy que se usa para definir la presencia es la capacidad instalada de las centrales hidroeléctricas (MW). Las coordenadas geográficas indican la ubicación de las centrales en las microcuencas y permiten tener dos mapas de presencia, una por cada tipo de usuario. Cabe mencionar que en Nicaragua solo funcionan las centrales hidroeléctricas de Santa Bárbara y Centro América, sin embargo para efectos prácticos se asume que las centrales en proyecto (tanto embalses como filo de agua) están funcionando.

3.3.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad fue definida en función a la sensibilidad a eventos climáticos y capacidad de adaptación y con ambos conceptos se construyó un índice de vulnerabilidad el cual definiremos de la siguiente manera (Adger 1999, Adger *et al.* 2003, IPCC 2001):

Vulnerabilidad = amenazas eventos climáticos – capacidad de adaptación [1]

Cabe mencionar que la vulnerabilidad, así como cada uno de sus componentes se estima solo cuando existe la presencia de centrales hidroeléctricas en una microcuenca.

Los indicadores de sensibilidad a eventos climáticos se construyen con base en información secundaria sobre amenazas a inundaciones, deslizamientos y sequías. Se asignan valores según grado de impacto del evento y se estandarizan para poder compararlos. La sensibilidad a eventos climáticos es un factor exógeno a las microcuencas.

El índice de amenazas se construyó de la siguiente manera:

Índice de amenazas = A. inundaciones + A. sequía + A. Deslizamiento [2]

La capacidad adaptativa del sector en una microcuenca se construyó con base en los siguientes indicadores:

a) La existencia de un plan de manejo de cuencas
b) La presencia de instituciones que faciliten la ejecución de un plan de manejo de cuencas
c) La organización local que permita que los actores al interior de las cuencas cumplan con los lineamientos y las normas previstas en el plan de manejo de cuencas

El índice de capacidad adaptativa se construye de la siguiente manera:

C. Adaptativa = P. de manejo de cuencas +P. institucional + O. local [3]

La capacidad adaptativa es un factor endógeno y sobre el cual se puede trabajar mediante políticas que busquen reducir la vulnerabilidad del sector hidroenergético.

3.3.3 Estandarización de las categorías

Debido a la diferencia de valores y escalas en las variables que constituyen la vulnerabilidad, fue necesario un paso previo de estándarización para poder trabajar en una

misma escala. Para tal efecto se usa una estandarización lineal de los datos según la siguiente fórmula:

$$y = y_1 + (x - x_1/x_2 - x_1).(y_2 - y_1) \quad [4]$$

Donde, y es el valor linealizado de x; x_1 y x_2, son los valores mínimos y máximos de la escala original de datos [para nuestro caso el valor mínimo es cero (0)]; y_1 [coincide con el valor mínimo de la escala original, cero (0)] y y_2 son los valores mínimos y máximos de la escala linealizada. Los datos serán convertidos a una escala de 0 a 100.

3.4 Servicios ecosistémico: producción y utilidad

3.4.1 Usos del suelo y servicios ecosistémicos (f,e)

La capacidad de producción de servicios ecosistémicos por los diferentes usos del suelo se basó en la sistematización de literatura de autores como Hodnett *et al.* 1995, Sahin y Hall 1996, Fahey y Jackson 1997, Nandakumar y Mein 1997, Guo *et al.* 2000, Bruijnzeel 2004, Bruijnzeel *et al.* 2004, Jonhson *et al.* 2000, Vincenzi 2001, a través de una matriz. Esta matriz fue sometida a discusión con expertos en el tema. Una matriz de referencia se muestra en el cuadro tres.

Cuadro 3: Matriz de generación de servicios ecosistémicos por uso de suelo

Uso del suelo	Servicios ecosistémicos			
	e_1	e_2	e_3	e_4
f_1				
f_2				
f_3				
f_4				
f_5				

Para evaluar la producción de servicios ecosistémicos por los usos del suelo se usa escala cualitativa con 6 valores, que van desde nulo (si el ecosistema no produce el servicio ecosistémico), bajo, medio-bajo, medio, medio-alto hasta alto (si el ecosistema produce mucho servicio ecosistémico de un tipo).

En la sección de datos se dará mayores detalles y se justificará los valores de la matriz.

3.4.2 Utilidad de los servicios ecosistémicos (u,e)

La utilidad de los servicios ecosistémicos para las empresas generadoras de energía hidroeléctrica está en función al tipo de central de generación (embalse o filo de agua) y al servicio ecosistémico (reducción de la sedimentación, regulación del flujo máximo, mínimo y total de agua). Una planta de generación a filo de agua demanda de servicios ecosistémicos hídricos diferentes a los demandados por las plantas con capacidad de embalse.

Se confeccionó una matriz de evaluación de la utilidad de los servicios ecosistémicos por tipo de usuario. Esta matriz se alimentó con base en literatura relevante (Guo *et al.* 2000, Vincenzi 2001, Klimpt 2002, CNE sf, CNE 2004, CNE 2005, CNE 2006), además de entrevistas con expertos del CNE, HIDROGESA e ICE. El cuadro cuatro esquematiza la matriz de utilidad de servicios ecosistémicos para los diferentes usuarios.

Cuadro 4: Matriz de utilidad

Tipo de usuario	Servicios ecosistémicos			
	e_1	e_2	e_3	e_4
u_1				
u_2				

Para evaluar la utilidad de los servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas se usa la siguiente escala cualitativa.

Cuadro 5: Escala de evaluación para la utilidad de los servicios ecosistémicos

	Descripción
Nula	Ninguna importancia
Muy baja	La ausencia de este servicio ecosistémico no perjudica la producción del usuario (filo de agua o embalse)
Baja	El servicio ecosistémico no reviste mucha importancia para un tipo de usuario (filo de agua o embalse)
Media	El servicio ecosistémico es de una importancia media para un tipo de usuario (filo de agua o embalse)
Alta	La ausencia de este servicio perjudica grandemente la producción del usuario (filo de agua o embalse)
Muy alta	Sin este servicio ecosistémico el usuario (filo de agua o embalse) no podría funcionar normalmente

3.5 Caracterización de la relación entre fuentes y usuarios de los servicios ecosistémicos

Para caracterizar la relación entre fuentes y usuarios de servicios ecosistémicos se usarán los siguientes conceptos

3.5.1 Destino (s,e)

Se define como un conjunto de unidades espaciales que reciben los servicios ecosistémicos de tipo *e* generados en una unidad espacial *s*. En nuestro caso, para cada microcuenca *s*, destino (*s,e*) es el conjunto de microcuencas aguas abajo.

3.5.2 Origen (s,e)

Es un conjunto de unidades espaciales de donde proceden los servicios ecosistémicos de tipo *e* aprovechado por la unidad espacial *s*. En el caso de los servicios ecosistémicos hídricos, las microcuencas de origen son aquellas que se encuentran aguas arriba.

En la realidad, la geomorfología del terreno puede hacer que el uso del suelo en una cuenca influya sobre la hidrología que no esté aguas abajo. Sin embargo, no se tomará en cuenta esta posibilidad (Bruijnzeel 2004, Bruijnzeel *et al.* 2004).

3.6 Evaluando la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético

El análisis se divide en dos etapas. La primera hace énfasis en usuarios de los servicios ecosistémicos (figura 3), mientras que en la segunda etapa se pone énfasis en los ecosistemas que producen servicios ecosistémicos (Figuera 4).

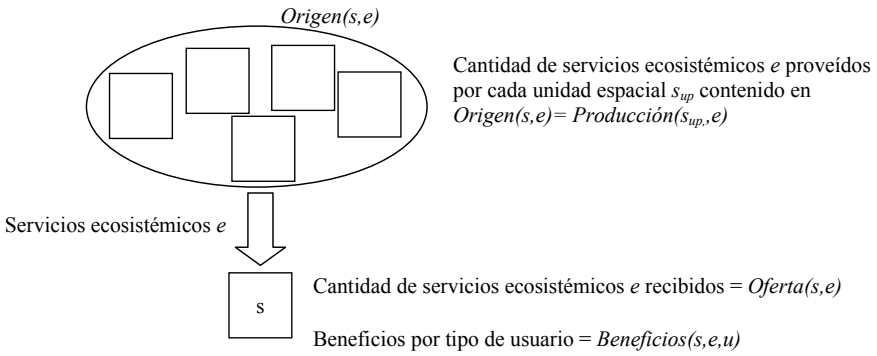

Figura 3: Énfasis en los usuarios y el origen de los servicios ecosistémicos

Fuente: Locatelli *et al*. sf

3.6.1 Etapa 1: Usuarios

En la primera etapa se asume que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético es proporcional a la vulnerabilidad de los usuarios y a la utilidad que estos obtienen de los servicios ecosistémicos (Locatelli *et al.* sf).

El beneficio que un usuario de tipo *u* localizado en una microcuenca *s* recibe de un servicio ecosistémico *e* se expresa en la ecuación 5. El beneficio no debe ser tomado en sentido económico, este representa la relevancia para un tipo de usuario *u* de recibir una cantidad determinada de servicio ecosistémico *e* en un contexto de vulnerabilidad al cambio climático.

$$Benefit(s, e, u) = vuln(s).util(u,e) \quad [5]$$

Esta ecuación expresa que a mayor vulnerabilidad y mayor utilidad del tipo de servicio ecosistémico, el tipo de usuario *u* se beneficia más de la existencia del servicio ecosistémico.

El servicio ecosistémico *e* recibido por la unidad espacial *s* viene de un conjunto de microcuencas *origen (s,e).* En este conjunto, cada microcuenca s_{up} puede proveer una cantidad de servicio ecosistémico *e* llamado *producción* (s_{up} *,e)* y está dado por la ecuación 6. Esta ecuación suma, para todos los usos del suelo, el producto de la superficie del uso en la microcuenca y su potencial de provisión de servicios ecosistémicos. El término *"cantidad"* no implica que el servicio ecosistémico puede ser medido, pero si es un indicador del potencial de provisión del servicio ecosistémico.

$$Production(s_{up}, e) = \sum_{f \in F} area(f, s_{up}).prod(f, e) \quad [6]$$

La cantidad de servicio ecosistémico *e* recibido por una microcuenca *s* está dada por la ecuación:

$$Supply(s,e) = \sum_{s_{up} \in orig(s,e)} Production(s_{up}, e) = \sum_{s_{up} \in orig(s,e)} \sum_{f \in F} area(f, s_{up}).prod(f, e) \quad [7]$$

El beneficio unitario está definido como el beneficio que un tipo de usuario *u* recibe de una unidad de servicio ecosistémico *e*. El beneficio unitario está dado por la ecuación 8, que calcula la razón entre el beneficio y la cantidad de servicios ecosistémicos

$$UnitaryBenefit(s,e,u) = \frac{Benefit(s,e,u)}{Supply(s,e)} \quad [8]$$

Se necesita calcular el beneficio unitario para dar más importancia a los usuarios que necesitan servicios ecosistémicos (aquellos con alta vulnerabilidad o utilidad alta) pero que no reciben cantidades adecuadas de dichos servicios (baja oferta). Para ellos, una unidad de servicio ecosistémico *e* es mucho más importante que para un usuario que recibe mayores cantidades.

3.6.2 Etapa 2: Ecosistemas

En la segunda etapa, el énfasis se pone en los ecosistemas. Se asume que la importancia de los ecosistemas para la adaptación es proporcional a los beneficios que los usuarios obtienen de los servicios ecosistémicos recibidos en el lugar de destino. Para evaluarlo consideramos los servicios ecosistémicos producidos por una microcuenca *s*, y para cada servicio ecosistémico, evaluaremos el beneficio de estos servicios para los usuarios ubicados en las microcuencas aguas abajo. La figura 4 muestra gráficamente la etapa 2 (Locatelli *et al. sf*).

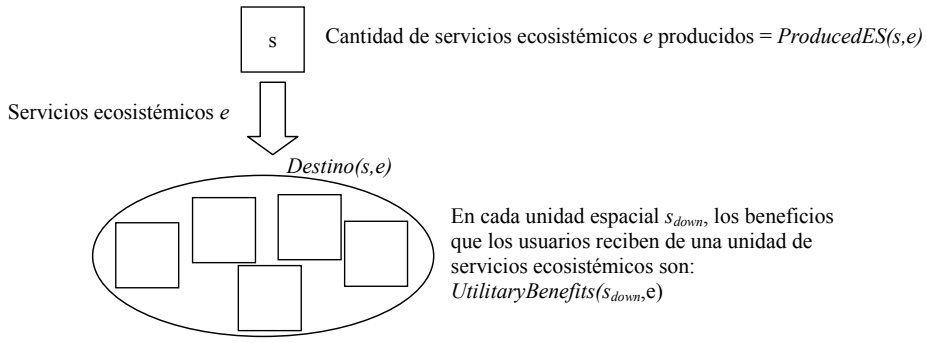

Figura 4: Énfasis en los ecosistemas y las unidades espaciales que consumen los servicios ecosistémicos generados en ellas.

Fuente: Locatelli *et al*. sf

La importancia de los ecosistemas depende de tres factores: la cantidad de servicios ecosistémicos producidos, el beneficio unitario de los usuarios en la unidad espacial de destino y la presencia de usuarios en la unidad de destino.

$$EcosystemImportance(s) = \sum_{e \in E} Production(s,e).\left(\sum_{u \in U} \sum_{s_{down} \in Dest(s,e)} UnitaryBenefits(s_{down},e,u).Pres(s_{down},u) \right)$$

[9]

Para cada servicio ecosistémico *e*, se suma (para todos las microcuencas s_{down} de destino y para cada tipo *u* de usuario) el producto de la presencia de usuarios por el beneficio unitario recibido por un usuario. Luego se suma para todos los servicios ecosistémicos.

Esta misma ecuación se puede aplicar a un solo uso del suelo, por ejemplo el uso forestal (ecuación 10, *FF* = tipos de uso forestal).

$$ForestImportance(s) = \sum_{e \in E} \left(\sum_{f \in FF} Area(f, s_{up}).Prod(f,e) \right).\left(\sum_{u \in U} \sum_{s_{down} \in Dest(s,e)} UnitaryBenefits(s_{down},e,u).Pres(s_{down},u) \right)$$

[10]

Es posible calcular la participación de algún uso de suelo en particular sobre la importancia de los ecosistemas para el sector hidroenergético tal como lo muestra la ecuación 11.

$$Forest\ relevance = Forest\ importance / Ecosystem\ importance \quad [11]$$

3.7 Construcción de los mapas

3.7.1 Procedimiento

La construcción de los mapas de importancia de ecosistemas, así como la importancia y participación de los bosques y de los sistemas agroforestales se hizo con tres herramientas principales: Tablas en *Excel*, *Arcview* y *MATLAB* (ver figura 5)

El primer paso consiste en ordenar todos los datos en hojas de cálculo y luego en formato SIG para exportar a MATLAB. Se exportan las variables que hacen referencia al nodo más alto y al más bajo de cada microcuenca y que permiten reconstruir en MATLAB los espacios de destino y de origen de cada microcuenca. Se exportan también, los datos referentes a variables de presencia de los tipos de usuarios, vulnerabilidad y áreas por categoría de uso del suelo.

El segundo paso consiste en cálculos usando MATLAB. Los cálculos se hacen mediante las ecuaciones descritas en el punto 3.6. Además, se usan los valores de la matriz de utilidad de los servicios ecosistémicos por tipo de usuario y la matriz de capacidad de producción de servicios ecosistémicos por tipo de uso del suelo. Estos valores se consideran como valores *fuzzy*, un concepto originado de la teoría difusa (*fuzzy sets theory*).

Los resultados se exportan luego de un proceso de *"defuzzificación"* para unirlos a los mapas de microcuencas y finalmente poder construir los mapas de importancia de los ecosistemas y los bosques para las centrales hidroeléctricas, que posteriormente se cruzan con

mapas de áreas protegidas para analizar la ubicación de los bosques importantes en relación a las áreas protegidas

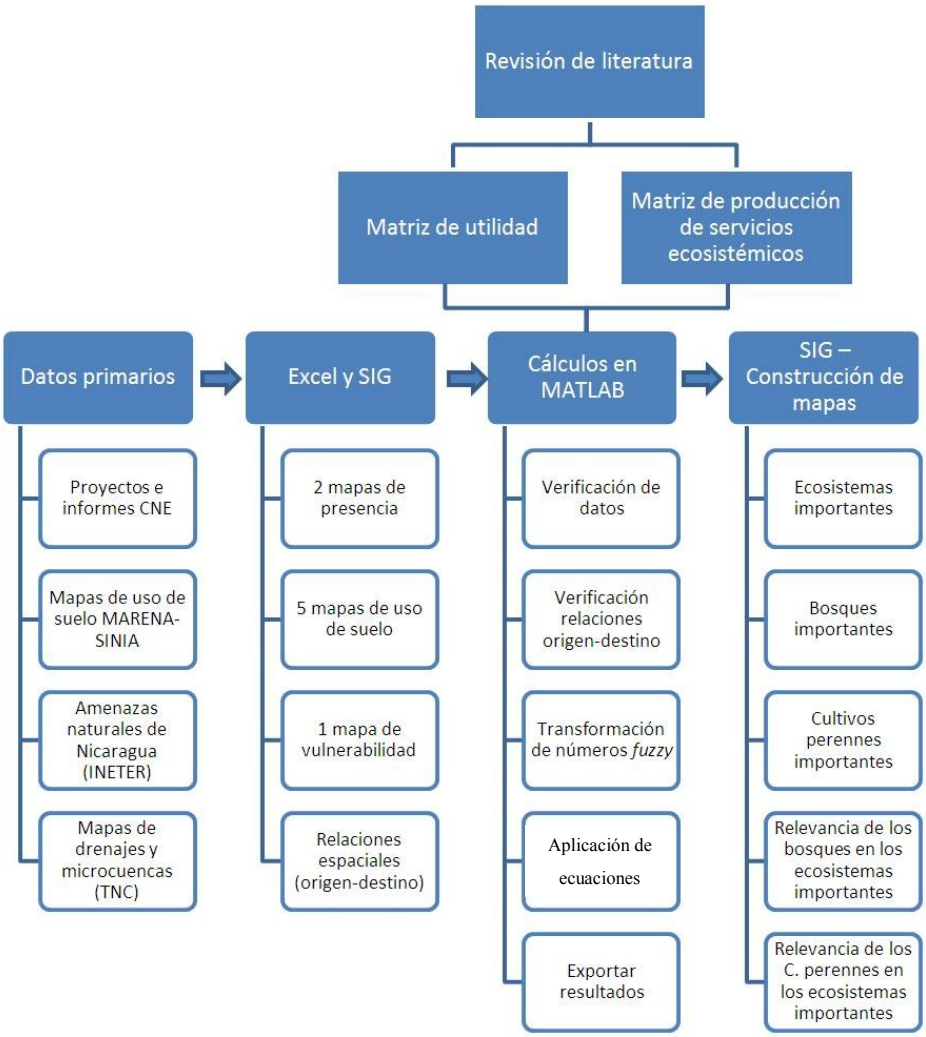

Figura 5: Herramientas y organización secuencial del trabajo.

3.7.2 Números fuzzy

La teoría difusa se basa en la incertidumbre y la ambigüedad de las palabras o expresiones con las cuales los expertos acostumbran clasificar ciertos eventos o hechos (Terano *et al.* 1987). Un ejemplo práctico es el calificativo de "alto" para una persona, que normalmente hace referencia a altura en centímetros; pero que sin embargo no nos da una información

precisa de la estatura de la persona (Terano *et al.* 1987). En nuestro caso, los datos de utilidad (*u,e*) y producción (*f,*e) de servicios ecosistémicos se describen mediante categorías de nulo, muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (cuadros 8 y 9). El problema radica en la ambigüedad de estas categorías y en los traslapes que existen entre una y otra. Locatelli (sf) usa los valores dados por Chen y Hwang (1992) para convertir las categorías de las tablas 4 y 5 a números *fuzzy*.

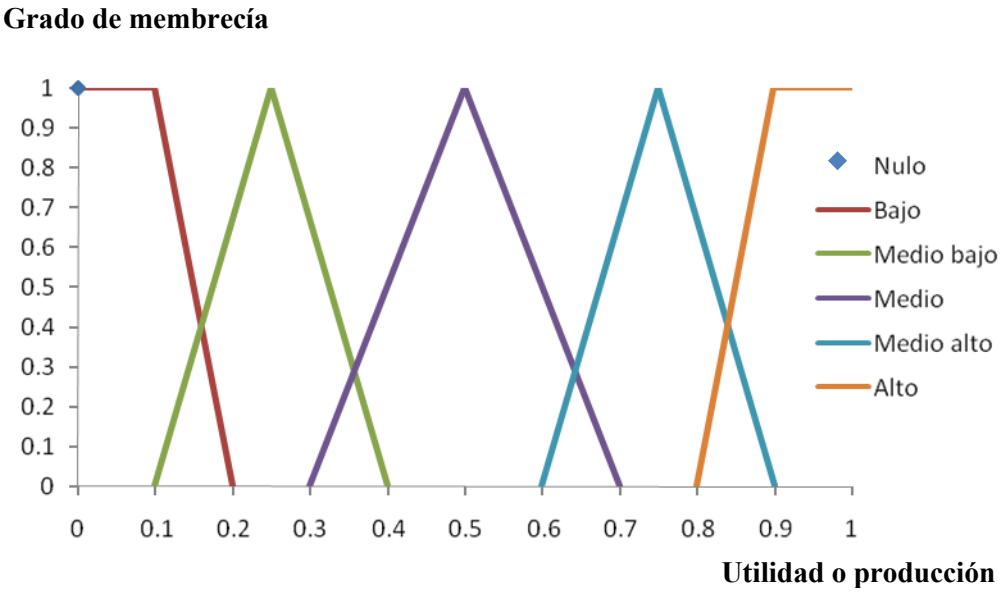

Figura 6: Transformación de términos lingüísticos a números fuzzy

Un número *fuzzy* se puede representar de manera triangular (ver "bajo" en la figura 6) o trapezoidal (figura 7).

Cuadro 6: Números *fuzzy*

Términos lingüísticos	Números *fuzzy*
Nulo	{0, 0, 0,0}
Bajo	{0, 0, 0.1, 0.2}
Medio bajo	{0.1, 0.25, 0.25, 0.4}
Medio	{0.3, 0.5, 0.5, 0.7}
Medio alto	{0.6, 0.75, 0.75, 0.9}
Alto	{0.8, 0.9, 1, 1}

Un número trapezoidal {1, 2, 3, 4} significa que el valor no puede ser menor de 1 ó mayor que 4, y que es muy probable que esté entre 2 y 3 (figura 7).

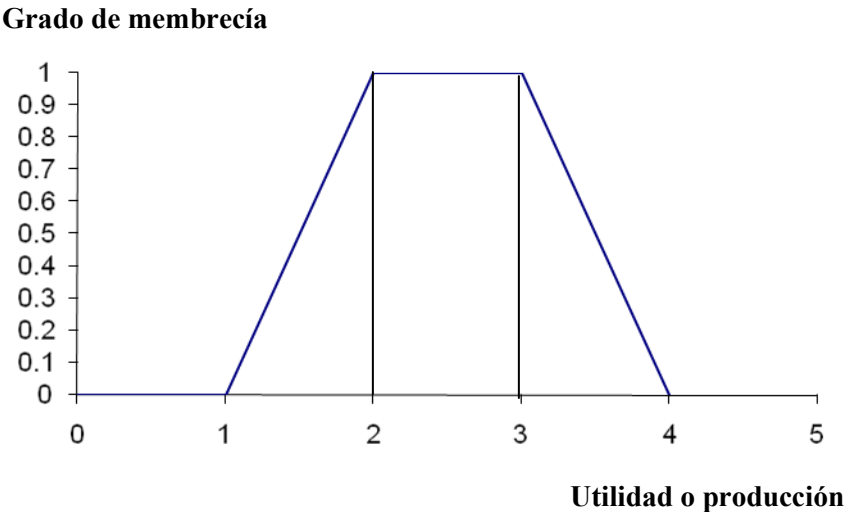

Figura 7: Número trapezoidal

Existe una aritmética especial para números *fuzzy*, lo que permite sumar, restar, multiplicar y dividir números fuzzy entre ellos (Stefaninia 2006).

Al final, se obtiene un resultado *fuzzy* que explica el grado de posibilidad para cada valor del resultado (ver figura 8). Un proceso de "*defuzzificación"* permite calcular el centro de gravedad (figura 8).

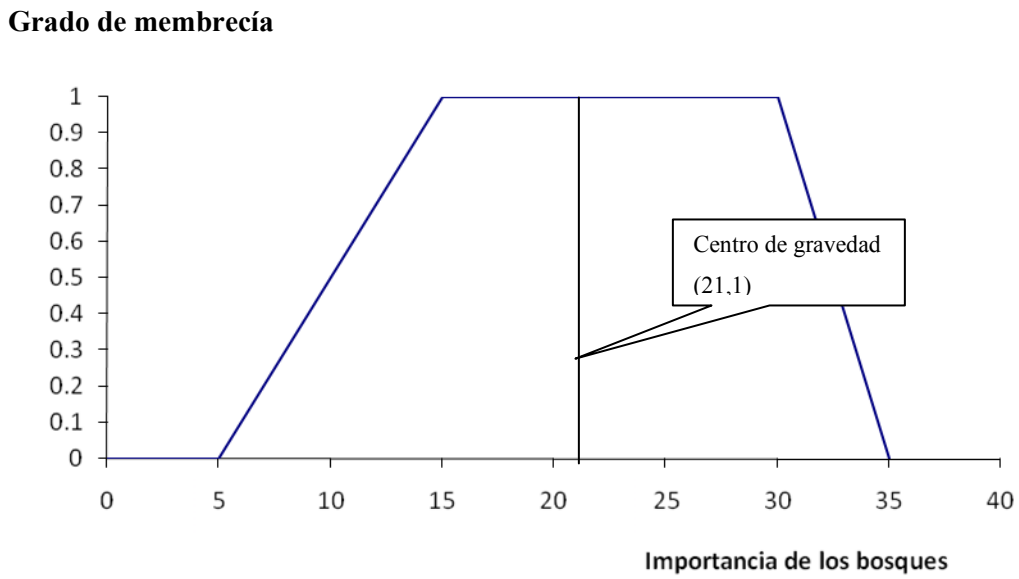

Figura 8: Centro de gravedad

4 DATOS

4.1 Mapas de microcuencas de Centro América

Antes de iniciar el análisis se revisó la conectividad de las líneas que representan a los ríos. La conectividad se refiere a la continuidad entre unidades espaciales que son influenciadas por un mismo río.

La red de drenajes y microcuencas de Nicaragua fue construida por *The nature conservancy* quienes usaron un modelo de elevación (SRTM-NASA, de 90 m) y la herramienta "*River tools"*. Con el software *Arcinfo* se construyeron la red de microcuencas. La vertiente atlántica tiene un total de 80 010 microcuencas con un área promedio de 112.28 ha por microcuenca, mientras que la vertiente pacífica cuenta con 27 551 microcuencas y un área promedio de 146.38 ha por microcuenca.

4.2 Mapa de uso actual del suelo

Se utiliza como base el mapa de uso actual de suelo del Atlas Rural de Nicaragua del 2002 (MAGFOR-SINIA 2002). Este mapa fue editado con base en imágenes de LandSat con pixel de 900 m^2, y muestra detalles de 33 categorías de usos de suelo. Para efectos de análisis estas categorías se agruparon en cinco clases: bosque, cultivos anuales, cultivos perennes, pasturas y otros usos. El cuadro 7 muestra los criterios usados para la clasificación de los cinco usos del suelo.

La determinación del área de uso del suelo se hará a través de la medición de cada uso en una unidad espacial determinada mediante un proceso SIG llamado *overlay*, que sobrepone el mapa nacional de uso del suelo con el mapa de microcuencas.

Cuadro 7: Usos de la tierra y descripción

Usos de la tierra	Descripción
Bosques	Latifoliados abiertos, latifoliados cerrados, pinares abiertos, pinares cerrados, manglares y bosques con palmas y/o bambúes, barbecho forestal y vegetación arbustiva en regeneración natural
Cultivos anuales	Áreas destinadas a producción de cultivos de corto periodo vegetativo
Cultivos perenes	Plantaciones forestales, sistemas agroforestales, café en limpio, entre otros
Pasturas	Áreas cubiertas por pasturas nativas, mejoradas; en buen estado o degradadas
Otros	Construcciones antropogénicas, rocas, nubes, espejos de agua, entre otros

4.3 Amenazas a eventos climáticos

El mapa de amenazas a eventos climáticos se basa en el estudio de *Amenazas Naturales de Nicaragua* (INETER 2001). Este estudio usa datos referentes a inundaciones, deslizamientos y sequías, entre otros. Para efectos prácticos se deja de lado el impacto de eventos tales como sismos, huracanes, volcanes y tsunamis. Además, se asume que cada uno de los tres componentes considerados tiene la misma importancia sobre el índice de amenazas (pesos iguales). Esta información se aplica a las 151 municipalidades de la División Política Administrativa de Nicaragua. A continuación se describen los insumos.

4.3.1 Amenazas por inundaciones

INETER (2001) asigna valores de 0 a 10 a las 151 municipalidades con base en la severidad del daño de las inundaciones, la frecuencia de ocurrencia y el potencial de ocurrencia debido a las condiciones hidrográficas. Los valores bajos significan un impacto

muy bajo de las inundaciones, mientras que valores altos indican impactos de consideración (para mayor detalle ver INETER 2001).

4.3.2 Mapa de deslizamientos

INETER (2001) clasifica las municipalidades sobre la base del relieve, debido a los daños por deslizamientos, derrumbes y flujos ocurridos en zonas montañosas. Se usaron mapas a 1:250 000 y 1:525 000 y se asignó un valor nulo a municipios entre 0 y 100 msnm y 10 a municipios con elevación superior a 2 000 msnm (para mayor detalle ver INETER 2001).

4.3.3 Mapa de sequía

INETER (2001) elaboró el mapa de sequías por municipalidades con el método de los deciles (valores que dividen a una serie de datos en 10 partes iguales). Se calcularon los promedios de precipitación de las estaciones distribuidas en todo el país con una serie de datos de 1970 a 1995. Se estimaron los deciles inversos (el primer decil corresponde a la cantidad de lluvia que no es excedida por el 10% de la serie). Se asignó un índice de sequía correspondiente a la clase de deciles. Por ejemplo, el 10% de las estaciones con más lluvia recibieron un índice de 1 y el 10% de las estaciones con menos lluvia recibieron un índice de 10 (para mayor detalle ver INETER 2001).

4.4 Ubicación y capacidad instalada de las centrales hidroeléctricas

La información sobre centrales hidroeléctricas se sistematizó de las siguientes fuentes:

- Los estudios de factibilidad de las 9 pequeñas centrales hidroeléctricas pertenecientes al proyecto "Desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de la red".
- Los informes y estudios de factibilidad de proyecto "Apoyo a implementación de proyectos hidroeléctricos de 5 a 30 MW" (11 informes).
- El estudio ambiental preliminar de los proyectos hidroeléctricos de Copalar y Tumarin.
- El plan maestro de desarrollo eléctrico 1977-2000 para Nicaragua (INE 1980).
- Entrevistas con responsables de proyectos en CNE e HIDROGESA.

4.5 Matriz de capacidad potencial de los usos del suelo de generar servicios ecosistémicos

Esta matriz se elaboró con base en información científica especializada y a través de consulta con expertos. El cuadro 8 muestra los valores usados en el presente trabajo.

Cuadro 8: Usos del suelo y su capacidad de producir servicios ecosistémicos

	Reducción Sedimentación	Regulación caudales máximos	Regulación caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Bosques	Alta	Media-Alta	Media-Alta	Media-baja
C. anuales	Baja	Baja	Baja	Alta
C. perennes	Media	Media	Media	Media
Pasturas	Media	Media	Media	Alta
Otros	Baja	Baja	Baja	Baja

Fuente: Elaboración propia

Los bosques juegan un papel importante en la reducción de la erosión al cubrir los suelos y protegerlos de las precipitaciones, y mantener su estabilidad (alto) mejor que los cultivos perennes y las pasturas (medio), y a su vez estos son mejores que los cultivos anuales y que otros usos del suelo (baja) (Vincenzi 2001, Pagiola 2002). Aun cuando se reconoce el valor del bosque en la regulación de flujos y la cantidad total de agua en la cuenca (Leonard 1987, Guo *et al.* 2000, Kaimowitz 2000, *Millenium ecosystem assessment* 2005), la magnitud de estos servicios ecosistémicos es aun poco clara, especialmente en esta región (Kaimowitz 2000, Bruijnzeel *et al.* 2004, Bruijnzeel 2004). Los bosques regulan los caudales máximos y mínimos; sin embargo, existe incertidumbre en este aporte (medio-alto). Así mismo, los cultivos perennes, dentro de los que se incluyen por ejemplo el café y otros sistemas agroforestales, pueden generar servicios ecosistémicos similares al bosque pero sin igualarlos debido a su nivel de intervención. Tanto los cultivos anuales como las pasturas tienen una influencia positiva en la cantidad de agua total en la microcuenca debido a que comparativamente sus niveles de evapotranspiración y extracción de agua de subsuelo son bajos; los bosques por el contrario reducen la cantidad total de agua en la microcuenca (media-baja) (Bruijnzeel *et al.* 2004, Bruijnzeel 2004).

4.6 Matriz de utilidad de los servicios ecosistémicos para los usuarios

Cuadro 9: Utilidad de servicios ecosistémicos para centrales hidroeléctricas

Tipo de usuario del servicio ecosistémico	Servicios ecosistémicos			
	Reducción sedimentación	Reducción caudales máximos	Conservación de caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Embalse	Alta	Baja	Baja	Alta
Filo de agua	Media	Baja	Alta	Media

Fuente: Elaboración propia

- **Utilidad de los SE para las centrales con embalses.** Debido a su capacidad de almacenamiento, las centrales con embalse están diseñadas para hacer frente a problemas de arremetidas inesperadas de excesos de agua en la cuenca, así mismo pueden tener almacenamiento que les permite generar por días aun cuando los caudales alcanzan mínimos (Guo *et al.* 2000). Sin embargo; la sedimentación es un problema que afecta el volumen útil del embalse (Vincenzi 2001) por lo que la reducción de sedimentos es de alta importancia para este tipo de usuario. De igual manera, si bien es cierto que la capacidad de almacenamiento de los embalses puede ayudar a controlar los efectos de crecientes repentinas así como caudales mínimos, este tipo de usurario depende de la cantidad total anual de agua en la cuenca para que producir (CNE 2004, CNE 2006).
- **Utilidad de los SE para las centrales a filo de agua.** El caso de los usuarios a filo de agua que no tienen capacidad de embalse o si lo tienen es muy limitada, la regulación de caudales mínimos es de mucha importancia dado que en época seca la probabilidad de contar con caudales inferiores al caudal de diseño es alta, hecho que afectaría el normal funcionamiento de este tipo de usuario (CNE 2005).

Las partículas de sedimentos en suspensión pueden llegar a ser un problema para estas centrales, pero este problema potencial puede prevenirse mediante edificaciones que funcionen como desarenadores (CNE 2005).

5 RESULTADOS

5.1 Ubicación de las centrales hidroeléctricas y cobertura de usos de suelo

La figura 9 muestra la distribución y ubicación de las centrales hidroeléctricas en el territorio nicaragüense. La cuenca con el mayor número de centrales es la n° 55 (17centrales, 866 MW). La segunda es la n° 45(9 centrales, 298MW); 8 en la cuenca n° 61 (210 MW); 3 en la cuenca n° 69 (133 MW); 2 en cuenca n° 53 (278 MW); 1 en la cuenca n° 49 (7 MW); 1 en la cuenca n° 57 (18 MW) y 1 en la cuenca n° 65 (94 MW).

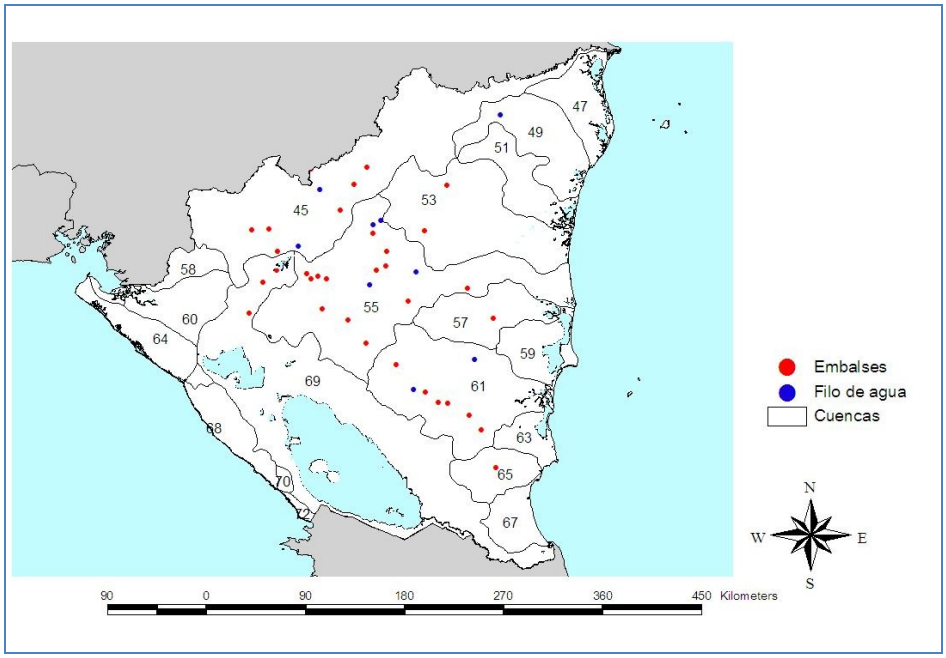

Figura 9: Cuencas hidrográficas y ubicación de las centrales hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia

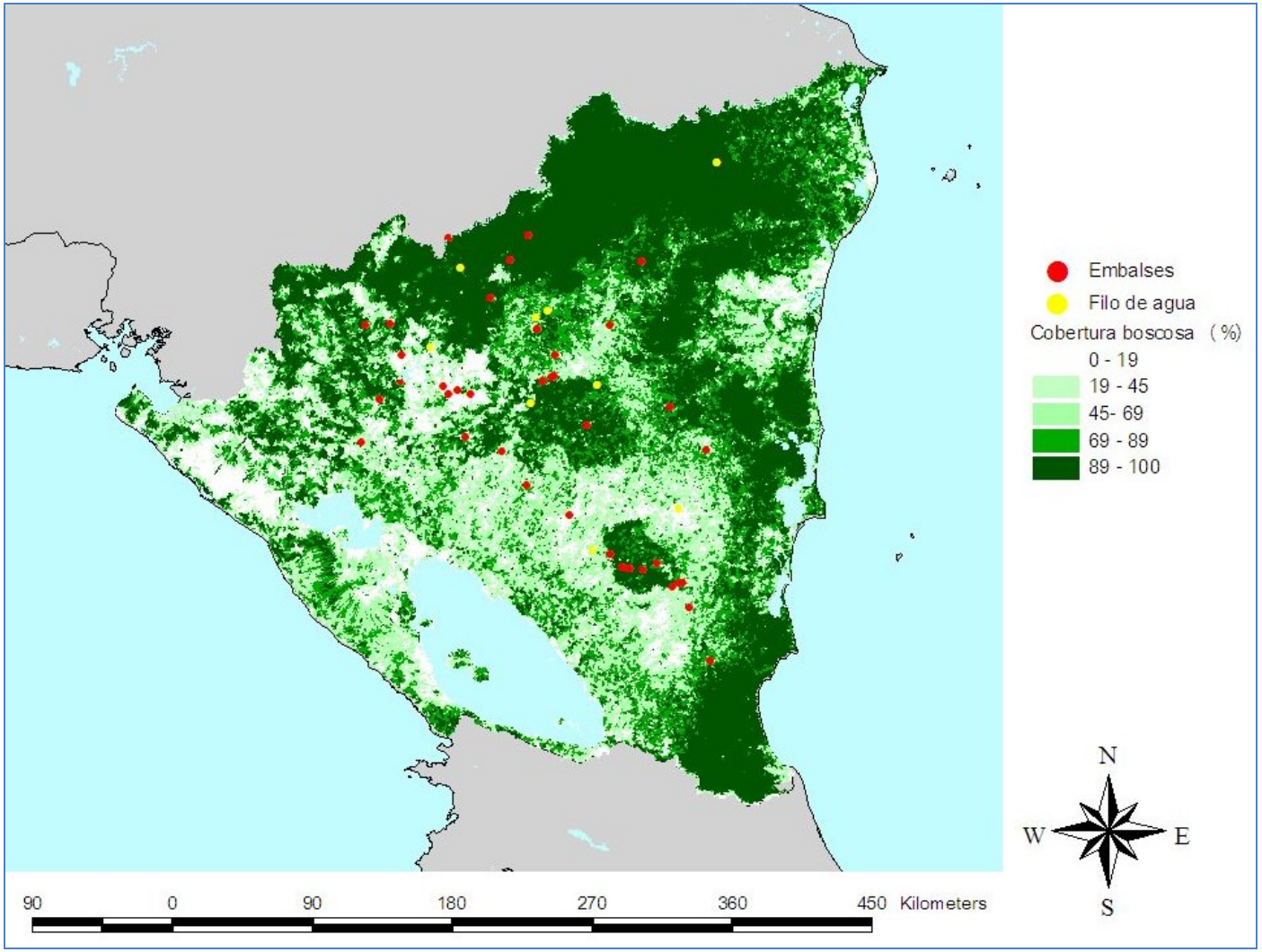

Figura 10: Cobertura forestal y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

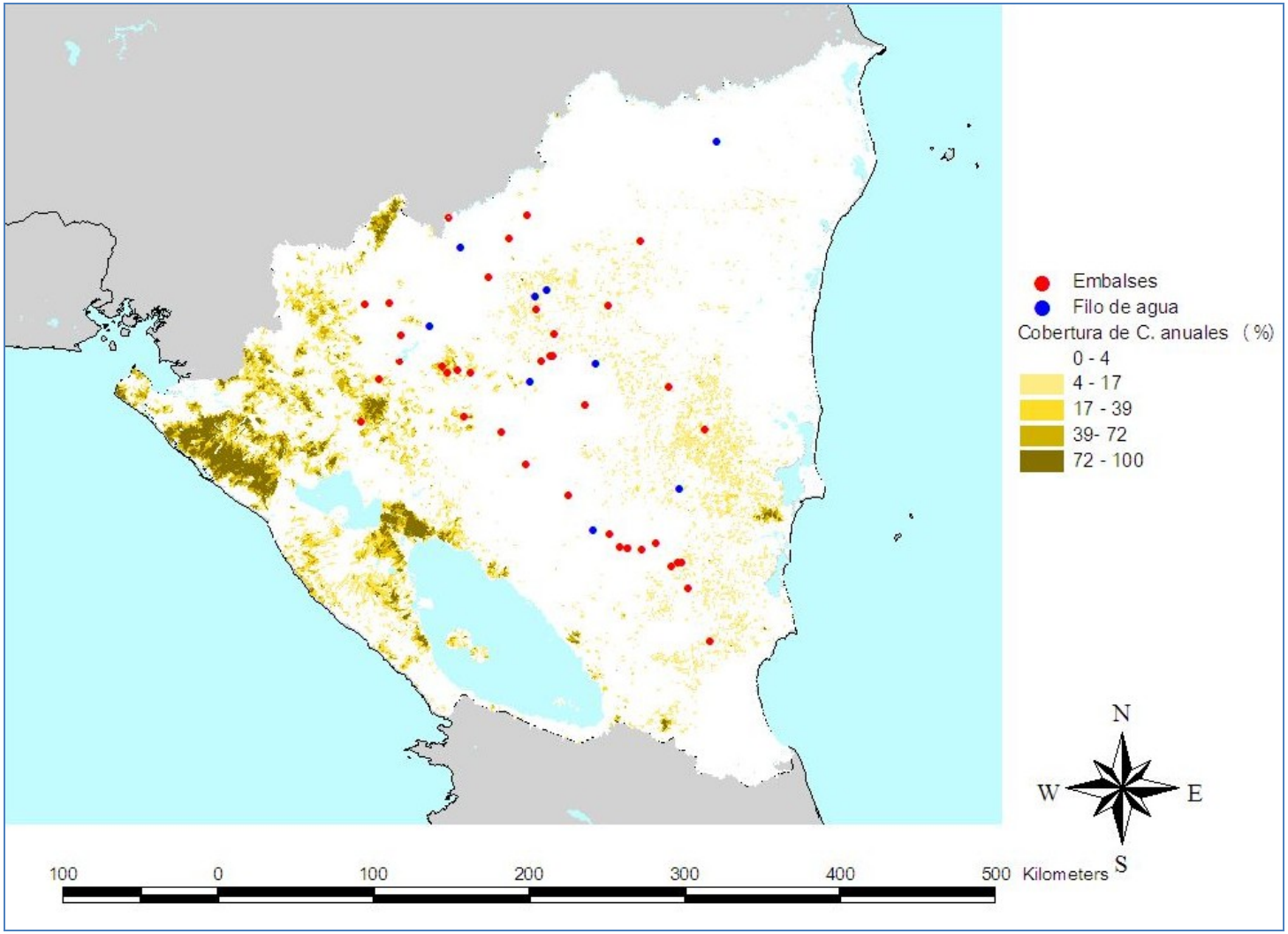

Figura 11: Cobertura de cultivos anuales y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

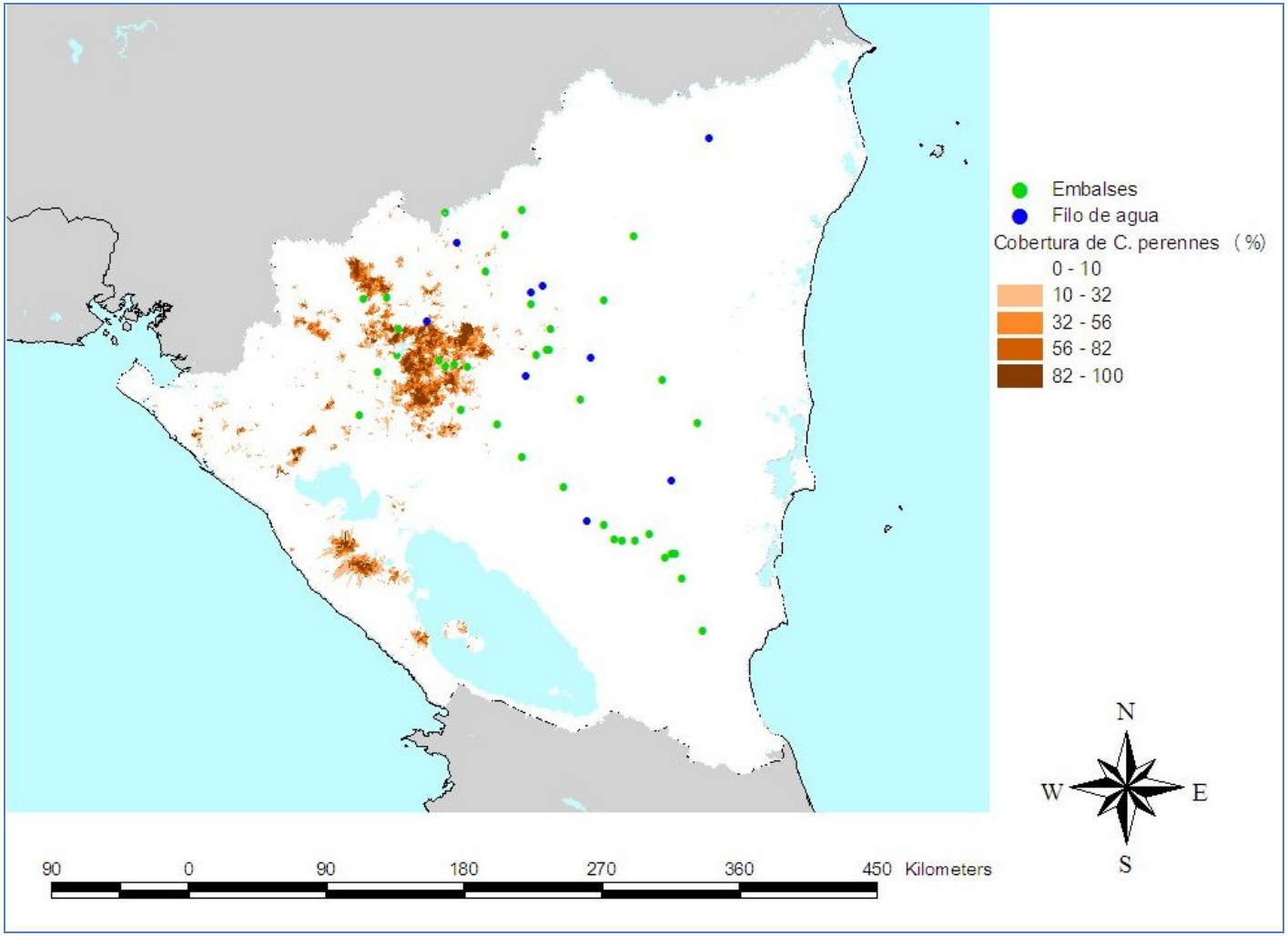

Figura 12: Cobertura de cultivos perennes y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

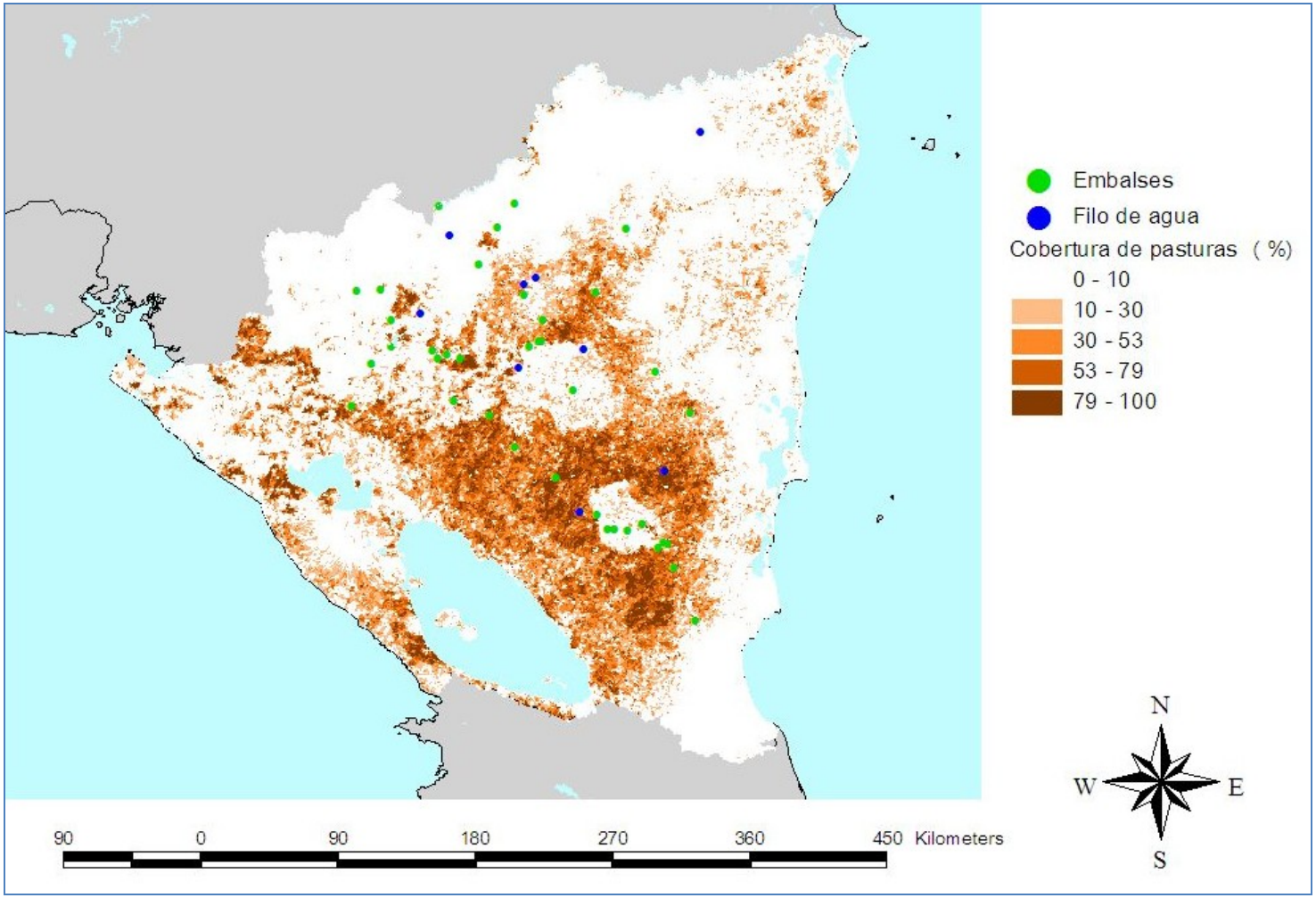

Figura 13: Cobertura de pasturas y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

La superficie territorial de Nicaragua está cubierta por 55 977 km^2 de bosques lo que representa 43% del territorio nacional. A esta área debemos sumar aproximadamente 32 600 km^2 de áreas en regeneración natural y que están cubiertas por especies arbustivas y arbóreas. La distribución de los bosques es de aproximadamente 78% en la Región del Atlántico (RAAN, RAAS y Río San Juan), el 17% en la Región Central (Madriz, Nueva Segovia, Matagalpa, Jinotega, Boaco, Chontales y Estelí); y el 5% en la Región Pacífico (MARENA 2003).

La mayor cobertura boscosa se encuentra hacia el norte en la cuenca del río Coco (cuenca n° 45), zona en la cual se encuentra el área protegida de Bosawas. De igual manera encontramos importantes coberturas de bosque muy cerca de la costa atlántica, principalmente al sur en el área de restauración ecológica, Río San Juan - Indio Maíz. La cuenca del Río Grande de Matagalpa (cuenca n° 55) y Río Escondido (cuenca n° 61) tiene zonas de bosque muy segmentadas; sin embargo, hay predominio de áreas de regeneración con especies arbustivas y arbóreas.

En cuanto a los cultivos anuales (fig. 11), las áreas más importantes se encuentran ubicadas en la vertiente pacífica especialmente en la cuenca n° 64 y otras alrededor de esta. Además, las áreas de cultivos anuales se extienden hacia la parte norte del lago de Nicaragua, parte de su contorno, y las zonas cafetaleras al norte del país. El área total bajo este uso es de 5 140 km^2.

Las áreas dedicadas a la explotación de cultivos perennes (2 530 km^2) están claramente definidas. Estas se ubican al norte del país en los departamentos de Jinotega, Matagalpa, Estelí, Madriz, y Nueva Segovia (fig. 12); en estos departamentos se encuentra las mayores áreas cafetaleras.

Las pasturas (fig. 13) se encuentran ampliamente distribuidas en la superficie de Nicaragua (21 323 km^2), exceptuando las áreas protegidas. Se observa una concentración hacia la zona central limitada por la cadena de montañas, la cuenca 45 al norte y una franja de bosques en el litoral Caribe.

5.2 Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas

Cuadro 10: Usos del suelo en las cuencas arriba de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua.

	Área total (km^2)	Área total de las cuencas arriba de una central (km^2)	Bosques	Cultivos Anuales	Cultivos Perennes	Pasturas	Otros
Atlántico	89 038.6	21 336.5	63.7	2.0	5.8	27.3	1.2
Pacífico	40 328.9	876.57	66.7	16.2	1.2	6.4	9.4

Fuente: Elaboración propia

La superficie de la vertiente atlántica es de 89 038 km^2, mientras que la vertiente pacífica es de poco menos de 40 328 km^2. La superficie total de los ecosistemas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas que están generando servicios ecosistémicos en la vertiente del Atlántico es de 21 336 km^2, mientras que en la vertiente del Pacífico la superficie es solo de 876.57 km^2.

En el Atlántico las áreas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas están principalmente bajo bosques (63.7%) y pasturas (27.3%, mientras que en el Pacífico están principalmente bajo bosques (66.7% del área) y cultivos anuales (16.2%).

5.2.1 Embalses

Nicaragua proyecta construir 32 centrales hidroeléctricas tipo embalse (ver cuadro 11). La capacidad prevista varía entre 2.5 MW (Salto del Loro) y 300 MW (Copalar). La central con más capacidad (MW) cuenta con el mayor número de cuencas aguas arriba (5 681) y también la mayor superficie aguas arriba (6 870 km^2).

Nicaragua tiene actualmente en funcionamiento dos centrales hidroeléctricas tipo embalse (Santa Bárbara y Centro América) bajo la administración de HIDROGESA, ambas centrales con una capacidad instalada de 50 MW cada una. La central Santa Bárbara tiene influencia de 17 cuencas aguas arriba que suman un área total de 32 km^2 que está compuesta en su mayor parte por bosques (73%). La central hidroeléctrica Centro América se beneficia de 639 cuencas aguas arriba que en conjunto suman 876 km^2, siendo el bosque el mayor uso del suelo (66%) seguido por los cultivos anuales (16%). Santa Bárbara se encuentra en la cuenca Pacífica, mientras que la Centro América se encuentra en la vertiente del Atlántico

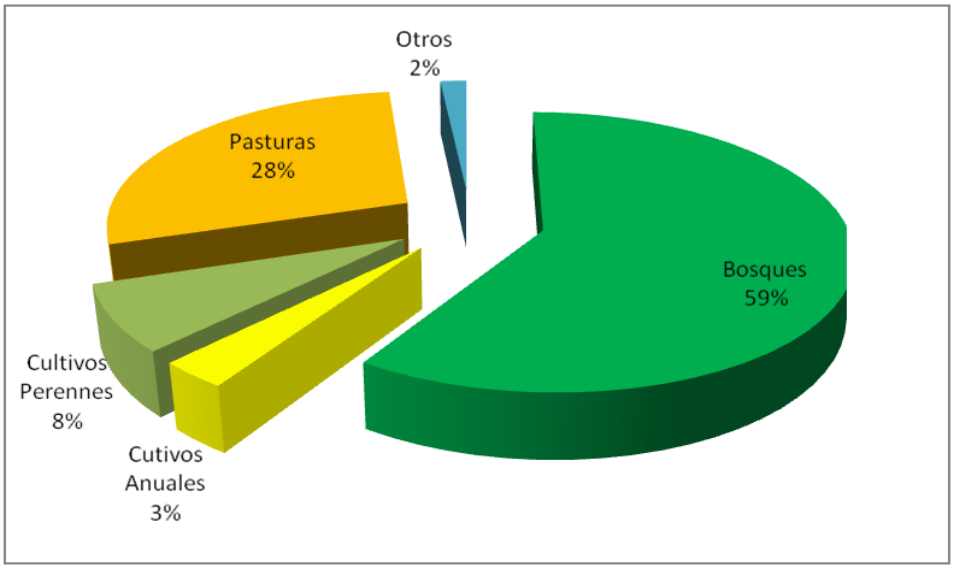

Figura 14: Usos del suelo aguas arriba de centrales con embalses en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Áreas de usos del suelo importantes para los embalses en Nicaragua.

	Capacidad instalada	Cuencas aguas arriba	Área total aguas arriba	Bosques	Cultivos Anuales	Cultivos Perennes	Pasturas	Otros
	MW	#	km^2			%		
Salto del Loro	2.50	164	185.9	27.3	2.0	55.7	9.5	5.6
Zopilota	5.00	273	312.9	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Daka	5.20	566	689.0	28.8	7.7	44.8	16.5	2.3
Quililon	6.00	3	5.3	60.5	7.8	23.7	8.0	0.0
Coco Torres	6.30	1 243	1 538.7	73.5	1.2	15.8	0.4	9.2
Kinunu	8.00	411	480.3	93.6	0.0	4.5	1.3	0.6
Namasli	9.00	647	840.6	73.4	1.5	13.4	0.2	11.6
Pantasma	10.40	63	68.3	20.4	0.0	52.3	10.3	17.0
Equirin	10.50	1 955	2 439.4	46.7	8.7	14.8	28.0	1.8
Consuleo	13.31	669	808.5	41.5	0.0	0.0	58.2	0.3
Paso Real	16.00	3 203	3 942.8	51.2	5.8	11.0	30.8	1.2
La Estrella	17.40	977	1 220.9	53.0	0.0	0.0	46.8	0.2
Santa Elisa	18.00	21	28.9	94.7	0.0	0.0	5.3	0.0
Bosayan	18.00	15	16.0	74.3	1.8	0.0	23.9	0.0
Loro	20.00	833	943.3	43.5	0.0	0.0	56.1	0.3
Poza Bruja	22.00	447	501.6	45.2	0.0	0.0	54.4	0.3
Ilipo	24.50	699	753.3	64.1	0.2	0.0	35.6	0.1
Valentin AI	26.00	385	437.2	70.1	3.2	0.0	26.7	0.0
Sofana	30.50	873	1 072.5	47.2	0.0	0.0	52.6	0.2
Pajaritos AI	33.00	127	176.1	81.3	2.4	3.0	8.5	4.8
La Sirena	41.00	775	889.1	76.1	2.6	0.6	20.7	0.0
Paraska	44.00	420	501.2	33.6	5.6	46.6	11.3	3.0
Kuikuinita	54.00	1 443	1 688.8	77.2	1.7	0.0	21.1	0.1
Kayaska	54.00	1 013	1 165.1	90.4	0.1	2.8	6.4	0.4
Boboke AI	68.00	1 673	2 065.2	62.2	1.6	7.7	28.3	0.1
Tendido	94.00	65	82.3	79.9	1.2	0.0	18.9	0.0
Santa Bárbara	50.00	17	32.3	73.5	0.0	14.5	0.0	12.0
Centro América	50.00	639	876.6	66.7	16.2	1.2	6.4	9.4
Piedra Fina	102.00	791	882.3	32.2	1.6	0.0	65.5	0.7
Mojolka	138.00	1 583	1 952.5	61.7	1.6	8.2	28.4	0.1
Pintada	203.00	687	817.0	97.8	0.1	1.6	0.3	0.2
Tumarin	210.00	405	459.8	66.7	2.2	0.0	29.6	1.5
Salto Y-Y	224.80	1	1.5	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0
Copalar	300.00	5 681	6 871.4	54.7	3.4	6.4	34.7	0.9

Fuente: Elaboración propia

La central hidroeléctrica Copalar, ubicada en Río Grande de Matagalpa, tiene la mayor superficie aguas arriba (6 871 km^2) compuesta por un 55% de bosques, 35% de pasturas, 6% de cultivos perennes, 3% de cultivos anuales y un área menor al 1% de otros usos.

Aguas arriba de las centrales hidroeléctricas de tipo embalse, los boques son los de mayor importancia en términos de área (59%) seguido por las pasturas (28%), los cultivos perennes (8%) los cultivos anuales (3%) y otros usos de suelo con 2% (ver figura 14)

5.2.2 Filo de agua

En cuanto a las centrales hidroeléctricas a filo de agua, la capacidad instalada varía entre 0.18 MW (Naranjo alto) y 7 MW (Arrawas). Salto Kepí es la central con mayor número de cuencas aguas arriba (711) y es además la de mayor área total aguas arriba (778.9 km^2). Los bosques predominan en las cuencas aguas arriba de estas centrales, a excepción de Salto Molejones, donde la mayor superficie de las cuencas aguas arriba está cubierta por pasturas (62%). Al contrario, las cuencas aguas arriba de la central de Salto Negro están cubiertas en su totalidad por bosques.

Cuadro 12: Áreas de usos del suelo importantes para las centrales a filo de agua en Nicaragua

	Capacidad instalada	Cuencas aguas arriba	Área total aguas arriba	Bosques	Cultivos Anuales	Cultivos Perennes	Pasturas	Otros
	MW	#	km^2			%		
Naranjo Alto	0.18	5	7.8	99.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Río Bravo	0.20	3	3.3	67.1	0.0	0.0	32.9	0.0
Wamblán	0.20	71	86.6	97.4	0.0	2.6	0.0	0.0
Salto Negro	0.32	9	7.3	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Salto Bilampí	0.35	25	26.9	80.7	0.0	3.8	10.4	5.2
Casa Quemada	0.36	23	23.4	84.8	4.9	0.0	10.4	0.0
Salto Molejones	0.45	303	332.4	36.0	1.7	0.0	62.2	0.0
Salto Kepí	0.80	711	778.9	94.5	0.0	0.0	5.5	0.0
Arrawas	7.00	81	110.6	98.8	0.0	0.0	1.0	0.2

Fuente: Elaboración propia

Aguas arriba de las centrales hidroeléctricas a filo de agua en Nicaragua, la cobertura de bosques es la más importante comparativamente con los otros usos de suelo (80%). En segundo lugar se encuentran las pasturas con 19% (ver figura 15).

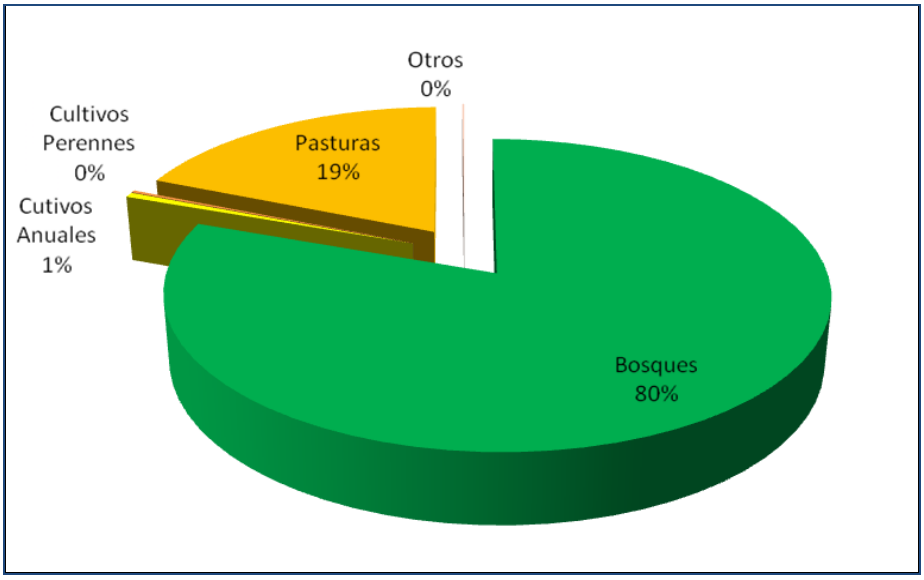

Figura 15: Usos del suelo aguas arriba de las centrales a filo de agua en Nicaragua

Fuente: Elaboración propia

5.3 Sensibilidad a eventos climáticos

En el cuadro 13 se muestra la sensibilidad a eventos climáticos a nivel nacional y también para las áreas que están aguas arriba de las centrales hidroeléctricas La figura 20 muestra el mapa de sensibilidad a eventos climáticos (inundaciones, sequías y deslizamientos) y la ubicación de las centrales hidroeléctricas tipo embalse y filo de agua.

Cuadro 13: Sensibilidad a eventos climáticos.

Sensibilidad	País	Área arriba de centrales
	%	
Muy baja	5.1	23.8
Baja	36.6	17.7
Media	34.1	17.4
Alta	14.6	13.9
Muy alta	2.4	35.1

Fuente: Elaboración propia.

Excluyendo la categoría de sensibilidad nula (cuerpos de agua), el 17% de la superficie de Nicaragua se encuentra en zonas de alta a muy alta sensibilidad a eventos climáticos (21 470 km^2). Este porcentaje se incrementa notablemente cuando se toma en cuenta solo la ubicación de las cuencas que están generando servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas. El 35% de la superficie de las cuencas que generan servicios ecosistémicos se ubican en zonas de muy alta sensibilidad a eventos climáticos.

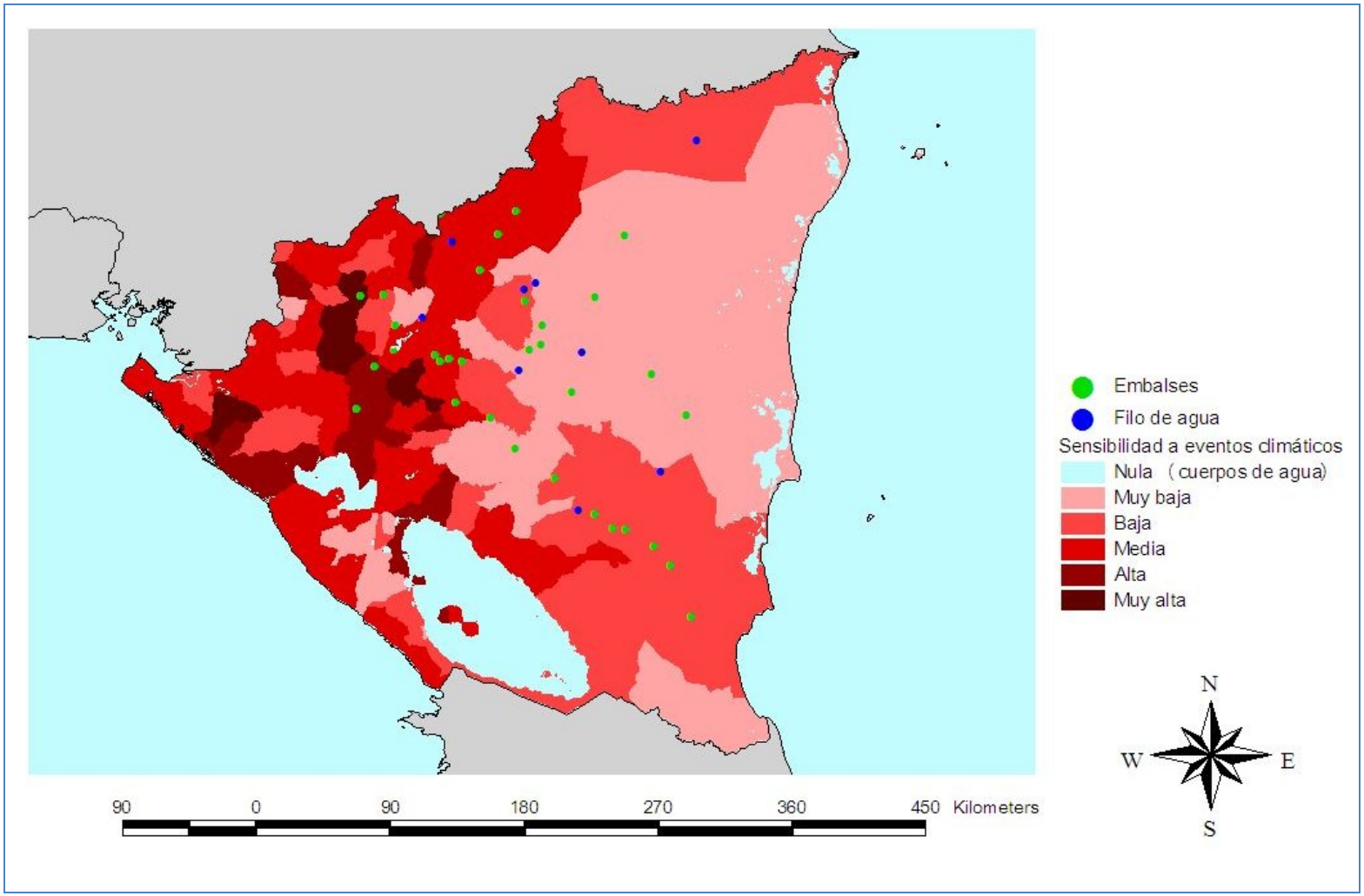

Figura 16: Sensibilidad a eventos climáticos

Fuente: Elaboración propia

5.4 Importancia de los ecosistemas para las centrales hidroeléctricas

Los ecosistemas que tienen relevancia (de media a muy alta) para las centrales hidroeléctricas representan el 10.4% de la superficie territorial de Nicaragua y están ubicados casi en su totalidad en la región atlántica (fig. 17).

Aproximadamente 8 300 km^2 de bosques se consideran como de alta a muy alta importancia para las centrales hidroeléctricas. Estos se encuentran distribuidos principalmente en 49 municipalidades (ver fig. 18), siendo las de mayor superficie Cúa-Bocay, Waslala, Wiwili de Jinotega, Nueva Guinea, Siuna y Matiguas, con áreas importantes entre los 537 km^2 y 1 176 km^2.

El área de cultivos perennes con importancia alta y muy alta es de aproximadamente 1 425 km^2, siendo las municipalidades de El Tuma-La Dalia (218 km^2), Matagalpa (214 km^2), Jinotega (195 km^2), San Ramón (191 km^2) y Rancho Grande (179 km^2) las de mayor superficie de cultivos perennes importantes para las centrales hidroeléctricas en Nicaragua (fig. 19).

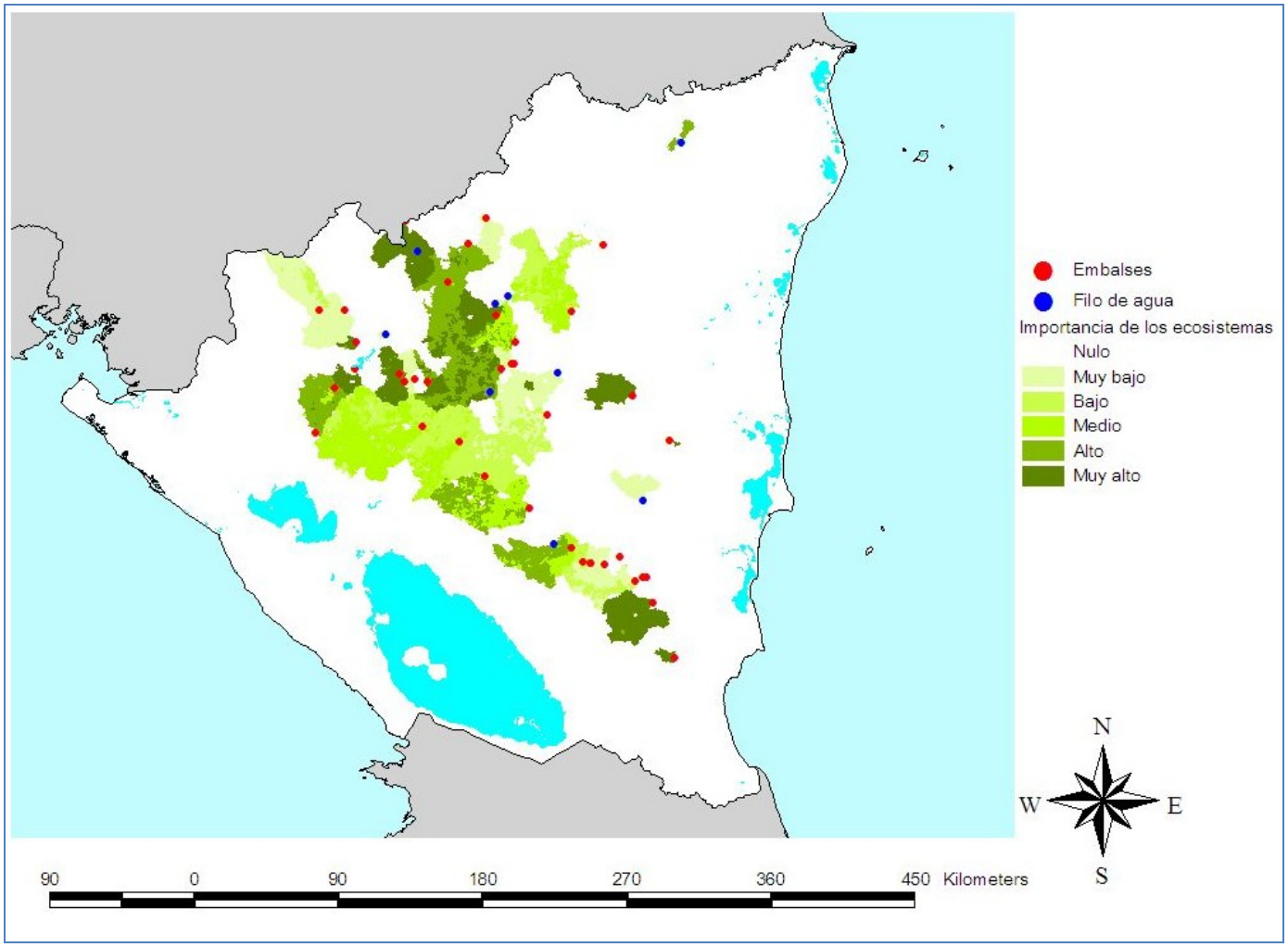

Figura 17: Ecosistemas importantes para las centrales hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia

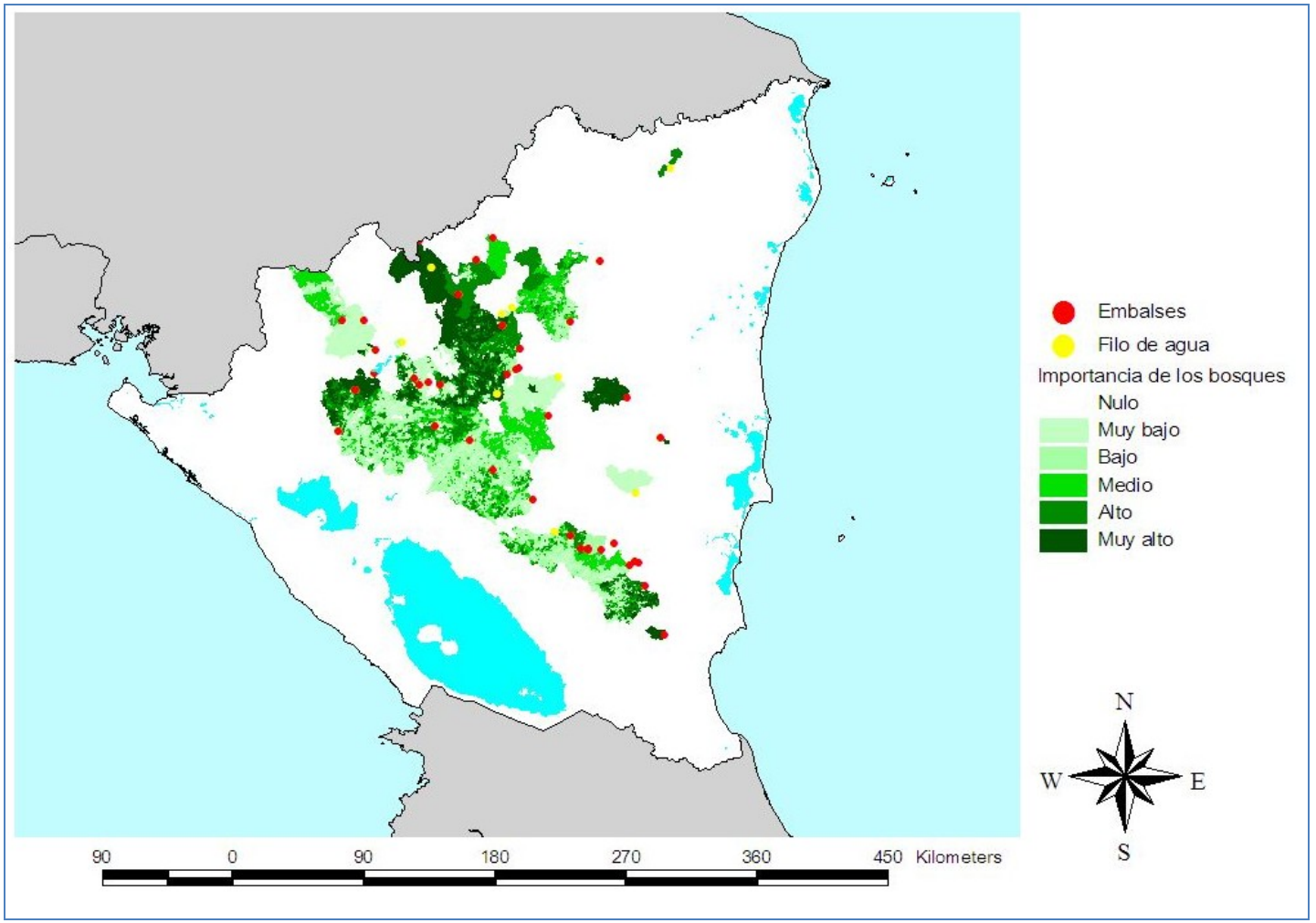

Figura 18: Bosques importantes para las centrales hidroeléctricas.

Fuente: Elaboración propia

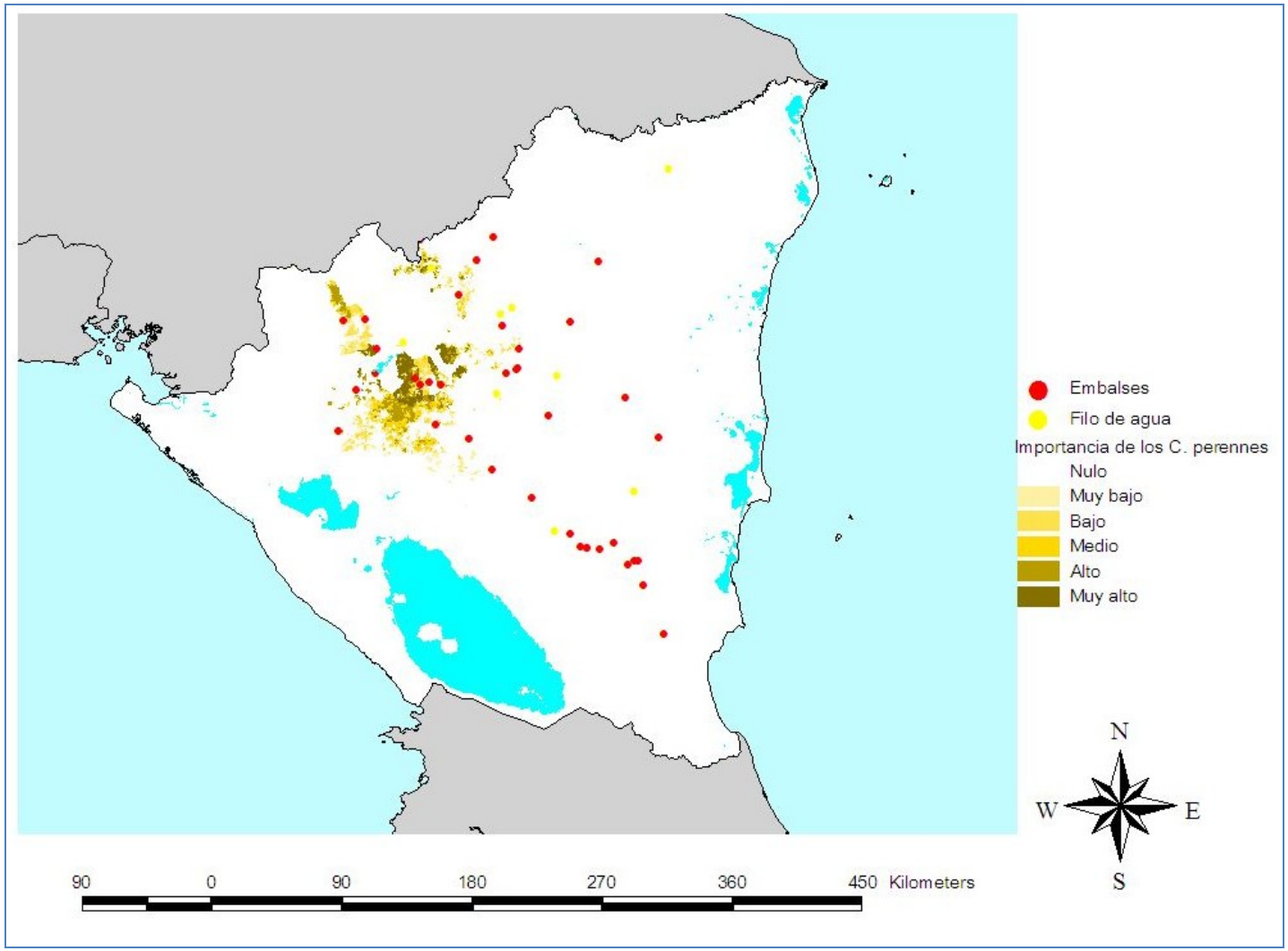

Figura 19: Cultivos perennes importantes para las centrales hidroeléctricas.

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Participación de los bosques y los cultivos perennes en la importancia de los ecosistemas

La participación de los bosques y los cultivos perennes en los ecosistemas importantes para las centrales hidroeléctricas se muestran gráficamente en la figura 20 y 21. Existen zonas en las que los servicios ecosistémicos provienen en su totalidad de bosques tropicales.

La participación de los cultivos perennes dentro de los ecosistemas importantes para las centrales hidroeléctricas se restringe a zonas muy específicas en la parte norte del país. La principal actividad en esta zona es la producción de café bajo sus diferentes sistemas de producción. En estas zonas se ubican alrededor de 10 centrales incluida la Centro América.

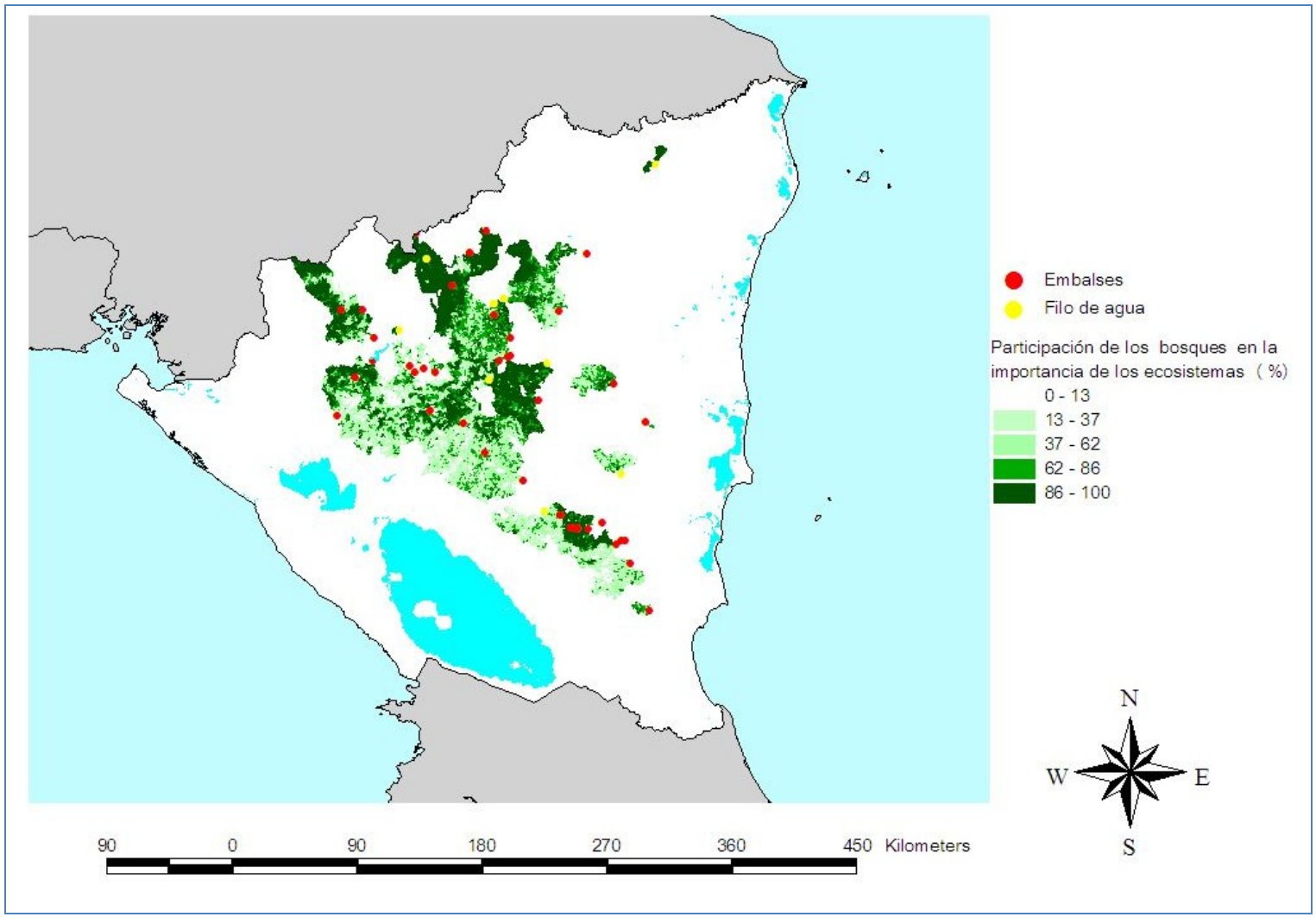

Figura 20: Participación de los bosques en la importancia de los ecosistemas

Fuente: Elaboración propia

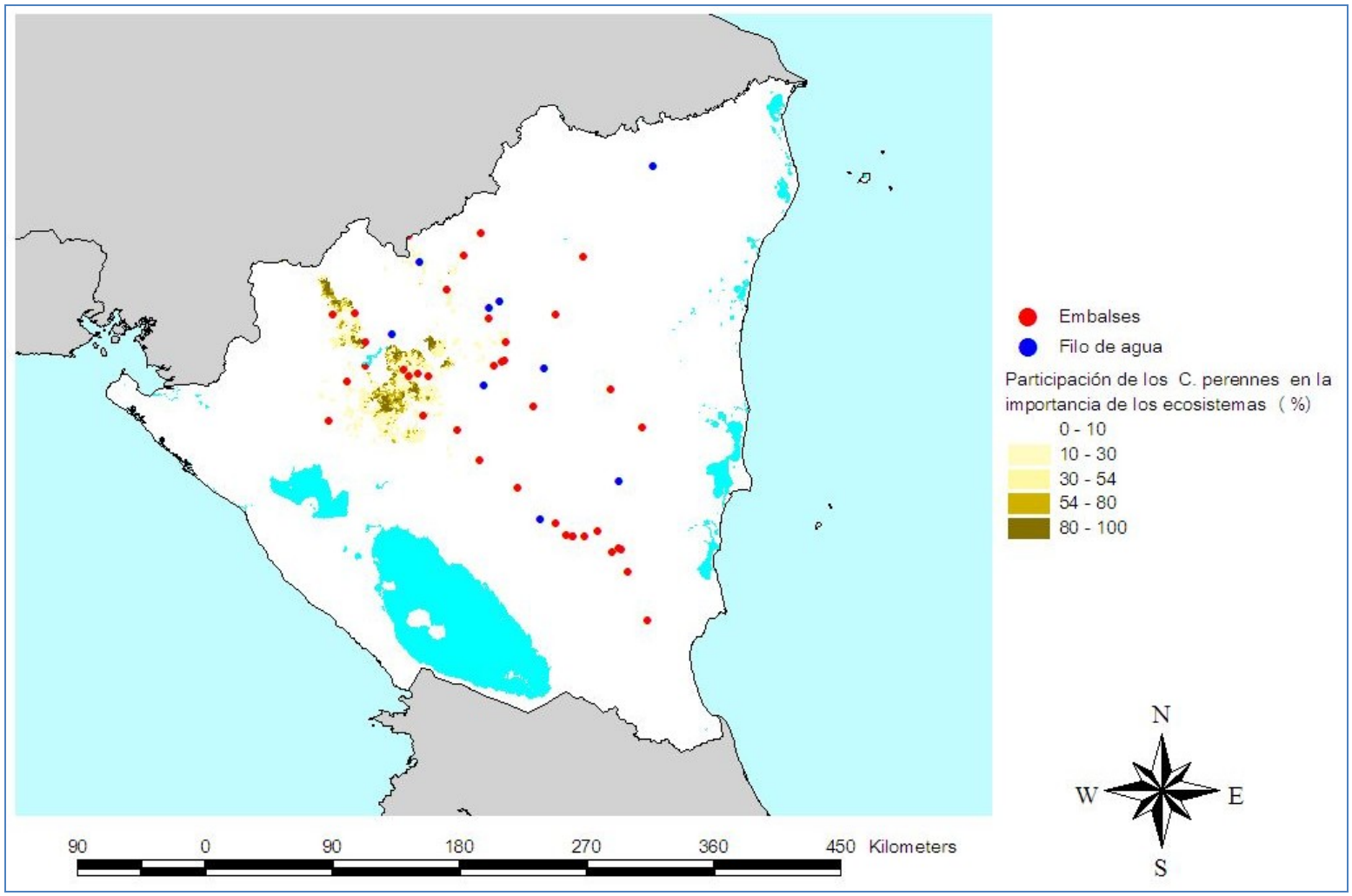

Figura 21: Participación de los cultivos perennes en la importancia de los ecosistemas

Fuente: Elaboración propia

5.5 Bosques importantes y áreas protegidas

Nicaragua cuenta oficialmente con 76 áreas protegidas. En 23 de estas, los bosques producen servicios ecosistémicos de utilidad para las centrales hidroeléctricas. En el 10.9% de las áreas protegidas se encuentran bosques con importancia media a muy alta para centrales hidroeléctricas (cuadro 14). El Cerro Tomabu y La Sierra Kilagua tienen su superficie cubierta casi en su totalidad por bosques importantes, mientras que solo el 0.1% de la superficie del área protegida Volcán Yali son bosques importantes.

Cuadro 14: Áreas protegidas y bosques importantes para las centrales hidroeléctricas.

Nombre	Área protegida	Bosques con importancia media a muy alta	Porcentaje
	km^2		%
Bosawas	7 424.2	716.3	9.6
Cerro Cumaica - Cerro Alegre	51.2	4.0	7.8
Cerro Datanli - El Diablo	21.8	6.8	31.4
Cerro Kilambe	125.7	39.3	31.3
Cerro Kuskawas	51.9	11.5	22.1
Cerro Mombachito - La Vieja	9.5	0.8	8.9
Cerro Musun	46.1	20.1	43.5
Cerro Pancasan	2.4	2.0	86.0
Cerro Tomabu	5.7	5.5	96.4
Cerro Wawashan	2 191.4	16.0	0.7
Cerros Banas Cruz	247.9	1.5	0.6
Cordillera Dipilto Y Jalapa	336.2	176.8	52.6
Fila Cerro Frio - La Cumplida	56.7	12.7	22.4
Fila Masigue	25.5	17.0	66.6
Guabule	55.3	18.9	34.1
Macizos De Penas Blancas	115.5	7.8	6.7
Punta Gorda	603.8	6.1	1.0
Salto Rio Yasica	2.4	1.7	70.9
Saslaya	273.1	111.6	40.9
Sierra Amerrisque	162.7	2.6	1.6
Sierra Kiragua	111.9	106.4	95.1
Volcán Yali	35.7	0.0	0.1
Yucul	45.0	19.5	43.3
TOTAL	12 001.6	1 304.9	10.9

Fuente: Elaboración propia

La mayoría de los bosques importantes para el sector hidroeléctrico se encuentran fuera de las áreas protegidas (ver fig. 22). La superficie de bosques productores de servicios ecosistémicos de importancia media a muy alta que están dentro de áreas protegías es de 1 305 km2. En términos absolutos y contando a todas las áreas protegidas con bosques importantes, Bosawas alberga a la mayor extensión de bosques importantes para la hidroenergía (716 km2). Los bosques al interior del área protegida de La Cordillera de Dipilto y Jalapa es el segundo en superficie (176 km2).

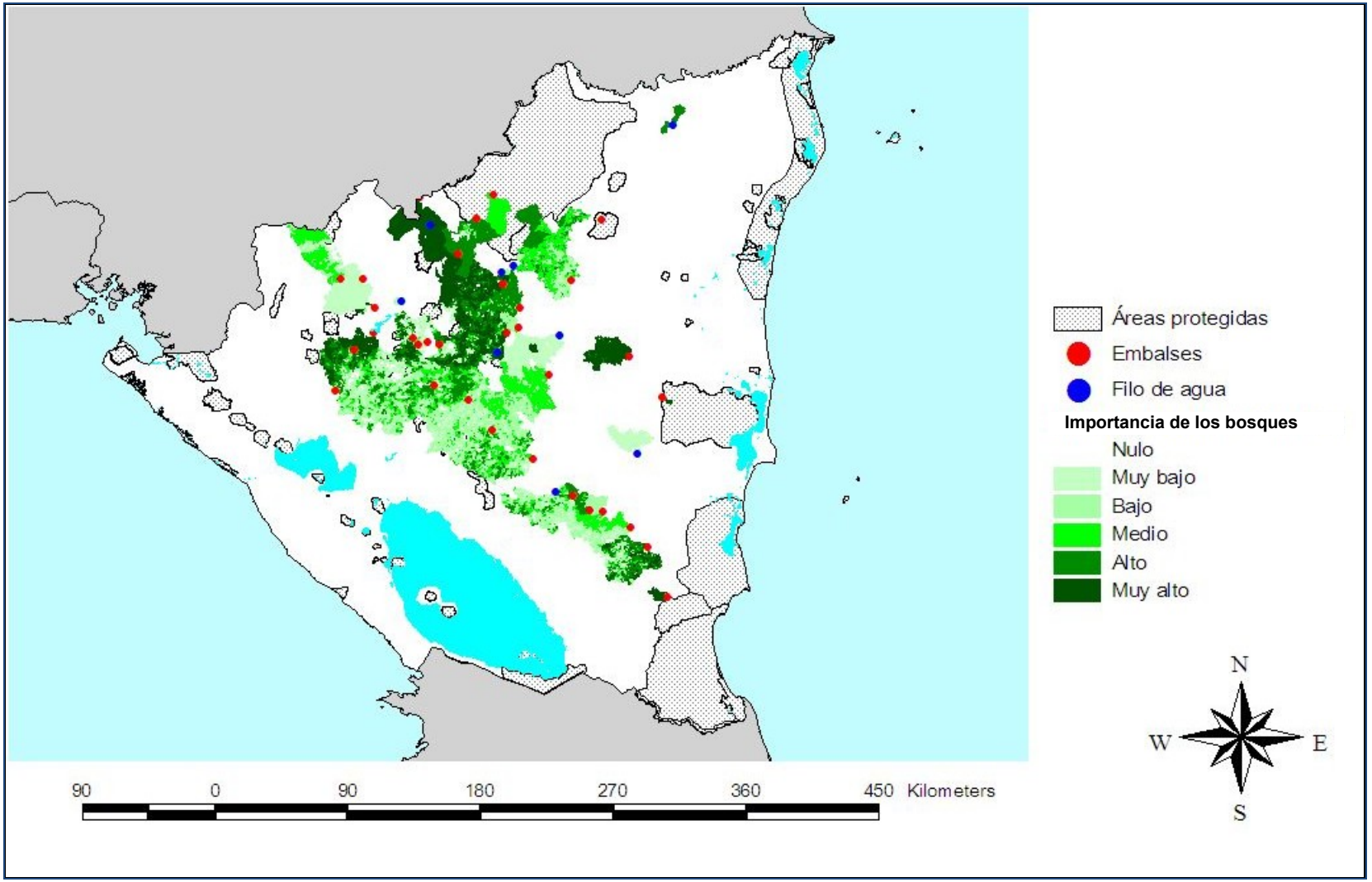

Figura 22: Áreas protegidas y bosques importantes para las centrales hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia

6 DISCUSIÓN

6.1 Ubicación de las centrales hidroeléctricas y cobertura de usos del suelo

Tal y como lo manifiesta el plan maestro de desarrollo eléctrico 1977-2000 para Nicaragua (INE 1980) y la CNE (2005), el mayor potencial hidroenergético de Nicaragua se encuentra en la vertiente atlántica, debido a que posee los ríos de mayor recorrido con régimen de caudal permanente y caudalosos, aunque variable en el espacio y en el tiempo (INETER 2001). Estos son idóneos para la instalación de embalses y centrales a filo de agua (CNE 2004, CNE 2005). Por esta razón, 41 de las 43 centrales hidroeléctricas proyectadas (1 853 MW) se encuentran ubicadas en esta zona, y solo 91 MW se ubican en la vertiente del pacífico.

La cobertura de ecosistemas forestales es de 83 590 km^2, este dato excede los reportes de MAGFOR (2002) que estiman la cobertura de bosques de Nicaragua en 55 977 km^2. Esta diferencia se debe básicamente a la incorporación de áreas consideradas como regeneración natural. Si bien es cierto estas áreas adicionales forman una categoría diferente a la clasificación de bosques (MAGFOR 2002, Spittler 2002), se tomó la decisión de incluirlas debido a que por definición son áreas que fueron abandonadas y que luego de un período de descanso se encuentran cubiertas de arbustos y especies arbóreas pioneras con condiciones micro climáticas para regeneración natural (Spittler 2002) y tienen funciones hidrológicas parecidas a las de los bosques.

Aproximadamente 5 140 km^2 corresponden a cultivos anuales. Es notoria la importancia de la región del Pacífico para la agricultura en Nicaragua, debido al mayor potencial de suelos aptos para agricultura bajo riego y a que gran parte de su territorio tiene topografía apropiada para dicho uso; en ella se localizan los acuíferos con mayor potencial del país; posee una

adecuada infraestructura de riego, así como de apoyo a la producción (pozos perforados, electrificación trifásica, puertos, carreteras, caminos y servicios múltiples) (MAGFOR 2002). Sin embargo, el Atlas Rural de Nicaragua reporta áreas menores de uso agrícola. Esto puede deberse a que el mapa de uso actual excluye pequeñas áreas distribuidas por la RAAS y la RAAN.

Aproximadamente el 88% del área dedicada a cultivos perennes son cafetales en monocultivo o con sombras. El área destinada a este cultivo es de 2 232 km^2, mientras que MAGFOR (2002) reporta aproximadamente 2 000 km^2. Esta diferencia, al igual que en el caso de los cultivos anuales se debe a que de alguna manera el resumen de usos del suelo reportados en el Atlas Rural de Nicaragua excluyen áreas pequeñas dispersas en el resto del país y solo se concentran a las zonas que tradicionalmente se dedican a este cultivo.

En cuanto a las pasturas, estas se encuentran ampliamente distribuidas a nivel nacional, principalmente la cuenca del Río Grande de Matagalpa. Las áreas incluyen las zonas con pasturas manejadas, pasto nativo y pasto con malezas (21 323 km^2); pero no incluyen aquellas zonas que se encuentran en un estado de regeneración natural con especies arbustivas y arbóreas mayores a 10 años y con alturas mayores a 5 m.

6.2 Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas

Los resultados de conectividad de la superficie aguas arriba de las centrales hidroeléctricas muestran que el área de importancia para la generación de hidroelectricidad en la vertiente del Caribe es mucho mayor que el área identificada en la vertiente del Pacífico, debido a la mayor presencia de centrales hidroeléctricas (CNE 2004, CNE 2005, Ingeniería y

Ciencia Ambiental 2006). Los usos del suelo aguas arriba de las centrales siguen el mismo patrón de distribución que para el resto del país. El área de mayor importancia siguen siendo los bosques en ambas vertientes. En términos porcentuales la cobertura boscosa es similar en ambas vertientes; sin embargo, las pasturas son el segundo uso más importante en el Caribe (27%), mientras que en el Pacífico lo son los cultivos anuales (16%).

6.2.1 Embalses

En términos generales las áreas de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas con embalses reportadas en este estudio son similares a las áreas reportadas en los estudios e informes de diseño de proyectos de la CNE (2005) e Ingeniería y Ciencia Ambiental (2006). Sin embargo, en algunos casos hubo diferencias entre superficies. Esto puede deberse al mayor nivel de agregación de las microcuencas analizadas durante la elaboración de los diseños de los proyectos de centrales con embalses, mientras que la herramienta que se usa en este trabajo se basa en la red de drenajes y microcuencas que divide a Nicaragua en 107 561 microcuencas con un área promedio de 130 ha por microcuenca.

Las centrales con información limitada solo a la capacidad instalada (MW) proyectada se ubicaron usando el plan maestro de desarrollo eléctrico del INE (1980). Para estas, la identificación de las microcuencas, área total y usos del suelo aguas arriba de las centrales será una herramienta importante para implementar políticas y planes de manejo co-adaptativo de los bosques y el flujo continuo de los servicios ecosistémicos que estos prestan para la generación de hidroelectricidad.

En términos generales, los usos del suelo aguas arriba de cada embalse son muy variados, y la distribución está influencia por el nivel de intervención y las principales actividades productivas de la zonas. Así por ejemplo, para la central de Salto del Loro, la

categoría de cultivo perenne es el uso más difundo en las áreas aguas arriba, mientras que para Zopilota el uso de mayor representatividad son los bosques.

6.2.2 Filo de agua

A diferencia de los embalses, los bosques ocupan el 80% del área aguas arriba de las centrales tipo filo de agua. Esto puede deberse a que este tipo de centrales son diseñadas para fortalecer la capacidad productiva de localidades en zonas rurales de difícil acceso y que estén fuera del sistema interconectado nacional (CNE 2004) en donde aún existen áreas considerables de bosques y áreas en regeneración natural (MAGFOR 2002).

Al igual que para el caso de las centrales con embalses, las áreas proveedoras de servicios ecosistémicos para las centrales a filo de agua son similares a las reportadas en los estudios e informes de diseños del CNE. Algunas diferencias en la superficie se explican por el mayor nivel de agregación de los mapas usados por el CNE en comparación con la menor superficie en promedio de las 107 561 microcuencas usadas en esta investigación.

6.3 Sensibilidad a eventos climáticos

El mapa de sensibilidad a eventos climáticos no hace ninguna discriminación por tipo de evento como inundaciones, deslizamientos o sequías. Este hecho puede enmascarar la importancia que puede tener un evento climático sobre los otros. Por ejemplo, zonas sensibles a sequías, pueden tener calificación de baja sensibilidad a eventos climáticos debido a que en estas zonas no ocurren inundaciones o deslizamientos.

Las centrales hidroeléctricas se encuentran en cuencas más sensibles a eventos climáticos que el promedio del país y esta tendencia puede agravarse debido al impacto del cambio en los patrones de precipitaciones y temperatura (MARENA 2001). En la Primera

Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se plantean escenarios que evidencian la sensibilidad del sector hidroenergético debido a la disminución del caudal total de los ríos como consecuencia del impacto que tendrá el cambio climático sobre los patrones de precipitaciones en el país (MARENA 2001). Este impacto puede verse magnificado como consecuencia del uso inapropiado de los suelos y los ecosistemas forestales el cual pone en peligro el flujo de servicios ecosistémicos que contribuyen a la adaptación del sector hidroenergético al cambio climático (MARENA 2003), hecho que evidencia la necesidad de trabajar en busca de un manejo co-adaptativo de los ecosistemas forestales.

6.4 Importancia y participación de los ecosistemas para las centrales hidroeléctricas

La semejanza en el mapa de ecosistemas importantes y el de bosques importantes para las centrales hidroeléctricas se debe a la cobertura boscosa y de áreas en regeneración natural predominante al interior de los ecosistemas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas.

El valor de nulo, no significa que en esas zonas no existan bosques; el valor nulo significa que esas áreas no aportan servicios ecosistémicos a las centrales hidroeléctricas. De manera general la importancia de los bosques aguas arriba de las centrales hidroeléctricas está influenciada por la capacidad instalada de las centrales aguas abajo, la cobertura de bosques (porcentaje dentro de las microcuencas) y el área total de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. La dispersión de la capacidad instalada del proyecto Copalar en más de 6 800 km^2 hace que los bosques muestren una importancia media. Ocurre lo contrario con

el proyecto Tumarín cuya capacidad instalada se concentra en 459 km^2 y los bosques se consideran muy importantes.

Sin embargo, debemos tener en cuenta que un alto porcentaje de las áreas identificadas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas dentro de la categoría de bosques son áreas en proceso de regeneración natural. Esta diferencia se puede ver en el mapa de cobertura de bosques (fig. 10), representadas con colores claros. Esto es importante debido a que son zonas expuestas a constante presión por la actividad ganadera (MAGFOR 2002, Steinfeld 2000, Dagang y Nair 2003).

En cuanto a los cultivos perennes, las áreas de importancia son notoriamente más pequeñas que las de los bosques importantes, limitándose a unos pocos municipios en donde la principal actividad productiva es el café. En las cuencas aguas arriba de las centrales Copalar y Tumarin existen áreas considerables de cultivos perennes; sin embargo, la importancia de estas se diluye por la presencia de los bosques y pasturas.

Los ecosistemas forestales ocupan la mayor área en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, esto hace que la participación de este tipo de uso de suelo sea marcadamente mayor a la participación de los cultivos perennes. Estos últimos son de una participación muy alta solo en las microcuencas, en las que el cambio de uso del suelo ha permitido el desarrollo de actividades productivas, en los que se incluyen sistemas agroforestales, tales como el cultivo del café en la zona norte del país.

6.5 Bosques importantes y áreas protegidas

En la actualidad Nicaragua posee 76 unidades en el sistema nacional de áreas protegidas (SINAP) que representan el 17.4% de la superficie territorial. Las áreas protegidas buscan asegurar la conservación, la protección y manejo sostenible de los recursos naturales y los

servicios de interés local, como los recursos hídricos para el agua potable y la generación eléctrica (MARENA 2003).

Este trabajo de investigación identificó 23 áreas protegidas en las cuales existen bosques que proveen servicios hídricos con categoría de media a muy importantes para las centrales hidroeléctricas. Esta superficie representa aproximadamente el 10% de los bosques aguas arriba de las centrales hidroeléctricas dentro de estas mismas categorías y solo el 6% de los bosques totales que generan servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, estas medidas no son suficientes para garantizar el cuidado de aquellos bosques que proveen servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas (MARENA 2003). Este resultado demuestra que el sistema de áreas protegidas no es el más adecuado para proveer servicios ecosistémicos al sector hidroeléctrico y facilitar su adaptación al cambio climático.

Las proyecciones para el año 2050 muestran un notable avance de la frontera agrícola y ganadera extendiéndose a poco más de 69 000 km^2 (MAGFOR 2002). Solo las zonas de bosques que ahora están dentro del SINAP estarán a salvo del proceso de deforestación. Esto implica que si no se toman las medidas adecuadas para resguardar los bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético, cerca del 83% de los bosques identificados como de alta a muy alta importancia desaparecerán, haciendo mucho más vulnerables a aquellas centrales hidroeléctricas que están ubicadas en zonas de alta sensibilidad a eventos climáticos.

6.6 Aspectos metodológicos

Tal como lo demuestran las figuras y cuadros presentados en la sección 5, este marco metodológico es de utilidad para la identificación y priorización de usos del suelo aguas arriba de las centrales hidroeléctricas que aportan servicios ecosistémicos para la generación de

hidroelectricidad. El resultado de este proceso es clave para el ordenamiento territorial y el uso adecuado de los recursos naturales. La metodología de identificación de áreas importantes para la generación de hidroelectricidad consistió en parámetros prácticos y aplicables a cualquier tipo de uso del suelo, sector y servicio ecosistémico no rival. Otras metodologías se basan en la aplicación de herramientas que buscan dar un valor económico a los servicios ecosistémicos y otras incorporan más de un sector en su análisis (Sánchez 2002, Imbach 2005, Troy *et al.* 2006). Imbach (2005) identifica las áreas prioritarias para el pago por servicios ambientales (PSA) en Costa Rica mediante análisis multicriterio de servicios ecosistémicos tales como la biodiversidad, los recursos hídricos, la belleza escénica y secuestro de carbono. En términos de servicios ecosistémicos para la generación de energía eléctrica, Imbach centra su análisis en la capacidad de los bosques para reducir la sedimentación en los embalses.

El modelo utilizado en este trabajo de investigación asume algunos supuestos tales como la no rivalidad de los servicios ecosistémicos, es decir que el consumo de una central hidroeléctrica de un servicio ecosistémico no perjudica la capacidad de otra central de aprovechar el mismo servicio. Otro supuesto importante es el índice de vulnerabilidad de la microcuenca el cual está compuesto por un factor exógeno a la microcuenca (índice sensibilidad a eventos climáticos) menos un factor endógeno que es el índice de capacidad adaptativa. El índice de vulnerabilidad no toma en cuenta el bosque sin embargo asumimos que este contribuirá a reducir la vulnerabilidad al ser incorporado como un componente de la capacidad adaptativa.

Uno de los principales retos del presente trabajo fue la asignación de valores a los servicios ecosistémicos que generan las cinco categorías de usos del suelo, especialmente los bosques tropicales, debido a la escases de datos espaciales y la consecuente incertidumbre en cuanto al rol del bosque como proveedor de servicios ecosistémicos hídricos (Kaimowitz

2000; Pagiola *et al.* 2002, Bruijnzeel 2004, Bruijnzeel *et al.* 2004). Así mismo, la asignación de valores a la utilidad que obtienen las centrales hidroeléctricas del uso de los servicios ecosistémicos puede mejorarse conforme se obtengan mayores resultados a nivel de investigación. Para ambos casos se pueden generar escenarios diferentes a través de un análisis de sensibilidad.

La utilización de la teoría de números difusos es clave en el modelo, debido a que se trabaja bajo el supuesto de incertidumbre científica en cuanto a la asignación de valores a la producción de servicios ecosistémicos y la utilidad que los usuarios obtienen de la utilización de estos servicios (Bruijnzeel 2004, Bruijnzeel *et al.* 2004). La teoría de los números *fuzzy* nos permitió trabajar con los traslapes de términos lingüísticos y convertirlos a datos numéricos a través de una función de membrecía (Dubois y Prade1998).

Uno de los factores que complica la aplicación de esta metodología es la exactitud de los datos primarios, entre ellos algunos problemas con la georeferenciación de los proyectos hidroenergéticos. Por ejemplo, la ubicación de una central hidroeléctrica en un río tributario y no en el río principal, puede conllevar a subvalorar las microcuencas aguas arriba de la mencionada central. Así mismo, es importante tener en cuenta el concepto de conectividad en el proceso de creación de la red de drenajes para evitar problemas en la selección de microcuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas.

Dependiendo del área de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, la sobrevaloración o subvaloración de la capacidad instalada puede afectar la importancia de los usos del suelo debido al prorrateo de este valor en el área total aguas arriba.

Uno de los retos de este trabajo fue la construcción de un mapa de presencia de las centrales hidroeléctricas con embalses para Nicaragua. La información correspondiente a este tipo de usuarios proviene básicamente de las consultorías contratadas por la CNE para el

diseño de proyectos hidroenergéticos (CNE 2004, CNE 2005). En estos documentos se pueden detallar las áreas de usos del suelo aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, estos documentos solo respaldan aproximadamente el 30% (14 centrales) de la capacidad proyectada para Nicaragua.

7 CONCLUSIONES

A través de este marco metodológico de identificación de bosques importantes para las centrales hidroeléctricas en Nicaragua concluimos que:

1. El sector hidroenergético en Nicaragua se encuentra en su mayoría en zonas de sensibilidad alta a eventos climáticos, por lo tanto las políticas nacionales de adaptación al cambio climático deben incluir el sector hidroenergético de manera prioritaria.
2. Los bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético en Nicaragua se encuentran ubicados mayormente en la zona central (cuenca del Río Grande de Matagalpa y al norte (cuenca del Río Coco) de la vertiente del Atlántico.
3. Gracias a su capacidad de generar servicios ecosistémicos, mayor cobertura y distribución dentro de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, los bosques son más importantes para la adaptación del sector hidroenergético que los demás usos del suelo.
4. Existen bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético dentro de áreas protegidas; sin embargo, la gran mayoría de estos bosques están fuera del amparo de este tipo de figura legal.

8 RECOMENDACIONES

Metodológicas

1. La definición de sensibilidad a eventos climáticos puede ser dividida en sus diferentes componentes de tal manera de poder analizar como los bosques pueden ayudar a reducir la vulnerabilidad del sector hidroenergético frente a un evento en particular. Así mismo, se puede jugar con los pesos que se asignen a los tres eventos climáticos. La alteración del patrón de precipitación y temperatura debido al cambio climático se debe tomar en cuenta para evaluar como estos cambios afectan el mapa de sensibilidad a eventos climáticos. Además se puede explorar la necesidad de incluir otros eventos climáticos de importancia tales como los huracanes.
2. Este marco metodológico puede ser mejorado conforme se tenga mayores resultados de investigaciones sobre la capacidad de los usos del suelo de producir servicios ecosistémicos y la utilidad de estos para la generación de electricidad en la región. Por ejemplo, se pueden considerar más tipos de uso del suelo, diferenciando entre bosques primarios, bosques secundarios o tacotales, parte alta de la cuenca o parte baja
3. Dado que la importancia de los bosques para la generación de hidroenergía depende de su capacidad de generar servicios ecosistémicos hídricos y de la utilidad que los usuarios obtienen de estos, se pueden crear escenarios variando las matrices de producción de servicios ecosistémicos y utilidad de estos para las centrales hidroeléctricas. Este análisis de sensibilidad permitirá confirmar la robustez de los resultados.
4. Por el alcance del trabajo (nivel nacional) se pueden perder detalles que son más visibles a nivel de microcuenca, este trabajo se puede retomar enfocándose en un área determinada a menor escala para probar los supuestos de este marco metodológico.

5. El trabajo identifica los bosques importantes pero no permite evaluar los impactos que tendrían cambios futuros en la cobertura forestal. El marco metodológico podría ser adaptado para ver cómo cambiaría la provisión de SE para los usuarios, bajo escenarios de cambio de uso del suelo.
6. El índice de capacidad adaptativa puede ser retomado y mejorado a través de la incorporación de criterios que no fueron contemplados en esta investigación.
7. La vulnerabilidad se asignó a la microcuenca específica en la que se encontraba ubicada la central hidroeléctrica. Sin embargo se podría considerar la vulnerabilidad de las cuencas aguas arriba.

Políticas

Se debería incluir el manejo de ecosistemas en las estrategias de adaptación del sector hidroenergético frente al cambio climático y presión antropogénica a través de planes de manejo de los bosques y sistemas agroforestales con un enfoque de paisaje.

Se podría analizar la participación financiera de los usuarios de los servicios ecosistémicos en el manejo adaptativo de los ecosistemas forestales, por ejemplo, a través de esquemas de pago por servicios ecosistémicos.

9 BIBLIOGRAFÍA

Adger, N. 1999. Social vulnerability to climate change and extremes in Coastal Vietnam. World development. 27(2):246-269 p

Adger, N; Huq, S; Brown, K; Conway, D; Hulem, M. 2003. Adaptation to climate change in developing world. Progress in Development Studies 3,3: 179-195 p

Alley, R. B; Marotzke, J; Nordhaus, W. D; Overpeck, J. T; Peteet, D. M; Pielke, R. A; Pierrehumbert, R. T; Rhines, P. B; Stocker, T. F; Talley, L. D: Wallace, J. M. 2003. Abrupt Climate Change. Science. 20:2005-2010 p

Alcamo, J; Bennett, E. 2003. Ecosystem and human well-being: a framework for assessment / Millenium ecosystem assessment. World Resources Institute. 247 p

Balick, M; Mendelsohn, L. 1992. Assessing the economic value of traditional medicines from tropical rain forest. Conservation biology. 6:1. 128-130 p

Bishop, J; Landell-Mills, N. 2002. Forest environmental services: an overview. *In*. Pagiola, S; Bishop, J; Landel-Mills, N. Selling forest environmental services. Market-based mechanisms for conservation and development. Earthscan Publications. Ltd, UK. 15-36 p

Bruijnzeel, L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. Agriculture, Ecosystems and Environment 104. 185–228 p

Bruijnzeel, L; Calder, I; Vertessy. 2004. Impacts of Forest Conversion on Streamflow. Hydrology. 350-358 p

CEPAL. 2004. Estrategias para el fomento de las fuentes renovables de energías en América Central. 107 p

CEPAL. 2006. Istmo centroamericano: estadísticas del subsector eléctrico. Informe preliminar del segmento de la producción de electricidad. (Datos actualizados a 2005). 37p

Chen, Sh.J; Hwang, C. L. 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. 536 p.

CNE. 2004. Plan nacional para la electrificación rural en Nicaragua (PLANER) 2004-2013. Managua Nicaragua.

CNE. 2004. Desarrollo de la Hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de la Red". Formulación de Estudios de Factibilidad y Diseños Finales para la Ejecución de 10 Proyectos Demostrativos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas NIC10-000-14045-001. Managua. Nicaragua.

CNE. 2005. 3 Estudios de proyectos hidroeléctricos a nivel de pre-factibilidad. Centrales hidroeléctricas Boboké – Pajaritos – Valentín. Managua. Nicaragua.

CNE. 2005. Nicaragua: " Apoyo a la implementación de proyectos hidroeléctricos de 5 a 30 Mw." PNUD-CNE10/0000/14043. Managua, Nicaragua. 20 p

CNE. 2005. Plan indicativo de la generación del sector eléctrico. Periodo 2005-2016. Managua. Nicaragua. 100 p.

CNE. 2006. Plan estratégico para el sector eléctrico. Nicaragua. 42 p

CNE. SF. Desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de la red. (en línea). Consultado 18 mayo 2006. Disponible en www.cne.gob.ni

Coomes, O; Burt, G. 2001. Peasant charcoal production in the Peruvian Amazon: rainforest use and economic reliance. Forest Ecology and Management, 140:1. 39-50 p

Dagang, ABK; Nair, PKR. 2003. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. Agroforestry Systems 59:149-155 p

Daily, G. C; Alexander, S; Ehrlich, P. R; Goulder, L; Lubchenco, Jane; Matson, P. A; Mooney, H. A. Postel, S; Schneider, S. H; Tilman, D; Woodwell, G. M. 1997.Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Issues in ecology. No 2. 17 p

Dubois, D; Prade, H. 1998. An introduction tu fuzzy systems. Clinica Chimica Acta. 270: 3-29 p

Fahey, B; Jackson, R. 1997. Hydrological impacts of converting native forest and grasslands to pine plantations, Sout Island, New Zealand. Agricultural and forestry meteorology. 84: 69-82 p

FAO. 1997. State of the World's Forests 1997, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 200 p

FAO. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en Nicaragua. Taller Regional sobre los Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica, Cuba y México. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 24 al 29 de noviembre 2002

Freman, P.K. 2001. Infrastructure, natural disasters and poverty. International institute for applied system analysis (IIASA). Luxemburg, Austria, 9 p

Frey, G. W; Linke, D. J. 2002. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. Energy policy. 30 1261-1265 p

Guariguata, M. y G. Kattan. 2003. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ). Cartago, Costa Rica. 691 p

Guo, Z; Xiao, X; Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. Ecological Applications.10:3, 925-936 p

Handmer, J.W; Dovers, S; Downing, T.E. 1999. Societal vulnerability to climate change and variability. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Kluwer Academic Publishers.4: 267–281 p

Hewlett, J. D. 1982. Principles of forest hydrology. University of Georgia Press, Athens, Georgia. USA.

Hodnett, M. G. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. Journal of hydrology. 170:233-254 p

IIED.2003. Mainstreaming adaptation to climate change in least developed countries (LDCS) Russell Press, UK 42 p

Imbach, P. 2005. Priority areas for payment for environmental services (PES) in Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. 88 p

Incer, J. 1995. Geografía dinámica de Nicaragua. Tomo I. Mangua, Nicaragua

INE. 1980. Plan Maestro de desarrollo eléctrico 1977-2000 Nicaragua. Hydro resources inventory. Annexes V 4.2

INEC. 2005. Censos nacionales. Cifras oficiales finales. República de Nicaragua.

Ingeniería y Ciencia Ambiental, S.L. 2006. Estudio ambiental preliminar de los proyectos hidroeléctricos de Copalar y Tumarín (Nicaragua). Energía, SA – HYDROCOPALAR, Ltd. 60 p

INETER. 2001. Amenazas naturales de Nicaragua. Instituto nicaragüense de estudios territoriales.1 ed. Managua, Nicaragua. 310 p

IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). McCarthy, J. Canziani, O. Leary, A. Dokken, D. y S. White, K. Eds. Cambridge University Press, UK. 1000 p.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Houghton, J. Ding, Y. Griggs, D. Noguer, M. van der Linden, P. Xiaosu, D. Eds. Cambridge University Press, UK. 944 p

Jiménez, F. Faustino, J. 2005. Experiencias y potencialidades del pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas en Costa Rica. *In* 4ta Conferencia científica inter-americana Henry Wallaca/CATIE. Manejo integrado de servicios ambientales en paisajes tropicales intervenidos. (4ta. 2005. Turrialba CR). 2005. Turrialba, CR. CATIE. 70 p

Jonhson, N., White, A., Perrot-Maître, D. 2000. Developing markets for water services from forests. Issues and lessons for innovators. Forest Trends. Washington,D.C

Kaimowitz, D. 2000. Useful myths and intractable truths: The politics of the link between forest and water in Central America. San Jose, CIFOR.

Keong, C. Y. 2005. Energy demand, economic growth, and energy efficiency –the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited. Energy policy. 33, 679-689

Klimpt, J.É; Rivero, C ; Puranen, H; Koch, F. 2002. Recommendations for sustainable hydroelectric development. Energy policy 30, 1305-1312

Leonard, H. J. 1987. Natural resource and economic development in Central America: a regional environmental profile. New Brunswick: Transaction Books.

La Gaceta. 2003. Ley N° 467. Ley de promoción al subsector hidroeléctrico.

Locatelli, B; Imbach, P; Vignola, R. sf. Assessing the contribution of ecosystems to the adaptation of society to climate change: a methodology using GIS and fuzzy sets. TroFCCA. 13 p

MAGFOR-SINIA. 2002. Atlas Rural de Nicaragua. Managua, Nicaragua. 1 CD.

MARENA. 2003. Estado del ambiente en Nicaragua 2003. II informe GEO. Managua. Nicaragua. 189 p.

MARENA; GEF; PNUD. 2001. Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Managua, Nicaragua. 125 p

Markandya, A; Halsnaes. 2002. Climate change and sustainable development. Prospects for developing countries. Earthscan Publications Ltd. UK. 291 p

Metzer, M. J; Rounsevell, M. D. A; Acosta-Michlik, L; Leemans, R; Schröter D. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems and Environment 114:69–85 p

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. Washington. DC. 155 p

Mirza, M.M.Q. 2003. Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt? Climate Policy 3. 233-248 p

Nandakumar, N; Mein, R. G. 1997. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change. 192: 211-232 p

Pagiola, S. 2002. Paying for water services in Central America: learning from Costa Rica. *In*. Pagiola, S; Bishop, J; Landel-Mills, N. Selling forest environmental services. Market-based mechanisms for conservation and development. Earthscan Publications. Ltd, UK. 37-62 p

Paish, O. 2002. Small hydro power: technology and current status. Renewable and sustainable energy reviews 6, 537-556 p

Reddy, R. V; Uitto, J.I; Frnas, D. K; Matin, N. 2006. Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India. Energy policy 34: 4069-4080 p

Sahin, V; Hall, M. J. 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. Journal of Hydrology. 178: 293-309 p

Scherr, S; White, A; Kaimowitz, D. 2005. How forest markets can benefit poor people. Forestry communicating international development research.

Sanchez, K. 2002. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. 149 p

Spittler, P. 2002. Dinámica de los bosques secundarios secos en la región Chorotega, Costa Rica. *In* UNA-INISEFOR. Ecosistemas forestales de bosques seco tropical. Investigaciones y resultados en Mesoamérica. 1er Ed. Heredia, CR. 244 p

Steinfeld, H. 2000. Producción animal y el medio ambiente en Centroamérica. *In* Pomareda, C; Steinfeld, H. eds. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE-FAO-SIDE. San José, CR. p. 17-32 p

Stefaninia, L; Sorinia, L; Guerra, M.L. 2006. Parametric representation of fuzzy numbers and application to fuzzy calculus. Fuzzy Sets and Systems, 157 (18): 2423-2455 p

Swart, R; Robinson, J; Stewart Cohen, S. 2003. Climate change and sustainable development: expanding the options. Climate Policy 3S1 S19–S40

Terano, T; Asai, K; Sugeno, M. 1987. Fuzzy systems theory and its applications. Ohmsha, Ltd. 268 p

TNC. 2007. Red de Drenajes de Centroamérica, Geodatabase. versión 1.0.The Nature Conservancy, Región de Mesoamérica & Caribe, Science Program, San José-Costa Rica

Tobias, D; Mendelshon, R. 1991. Valuing ecotourism in a tropical rain-forest reserve. Ambio. 20:2. pp. 91-93 p

Tompkins, E. L ; Adger N.W. 2005. Defining response capacity to enhance climate change policy. Environmental Science & Policy 8:562–571 p

Troy, A; Wilson, M. A. 2006. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. Ecological economics. 60. 435-449 p

Vincenzi, J. 2001. Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE. Tecnología-ICE. Energía y telecomunicaciones. Vol. 11 No.1 Diciembre 2001. 100-111 p

Wheaton, E.E; Maciver, D.C. 1999.A framework and key questions for adapting to climate variability and change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Kluwer Academic Publishers. 4: 215–225 p

Wigley , T. M. L. 2005.The Climate Change Commitment. Science. 307:1766-1769

Yamin, F; Depledge, J. 2004. The International Climate Change Regime: A Guide to Rules, Institutions and Procedures. Cambridge Universit y press. 676p

Yuksek, O; Komurcu, M. I; Yuksel, I. Kaygusuz, K. 2006. The rol of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand. Energy policy. 34. 3093-3103 p

ANEXOS

Anexo 1. Identificación de sectores importantes que hacen uso de los servicios ecosistémicos de los bosques en Nicaragua

El proceso de identificación de los sectores importantes para Nicaragua que hacen uso de los servicios ambientales siguió todo un proceso metodológico de selección con base en la selección de literatura relevante y consultas con expertos.

El sector hidroenergético se seleccionó como uno de los de mayor relevancia para el desarrollo de Nicaragua y que sobre todo es uno de los que hace mayor uso de los servicios ambientales producidos por los ecosistemas terrestres. A continuación se describe el proceso metodológico de selección del sector hidroenergía. Esta selección fue confirmada durante el taller de lanzamiento del proyecto Trofcca, donde los actores nacionales confirmaron la importancia del sector.

Objetivo general

Identificar y seleccionar los sectores socioeconómicos más importantes que hacen uso de los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que generan los bosques y sistemas agroforestales tropicales (SAF) en Nicaragua.

Objetivos específicos

a) Revisión de diferentes fuentes de información (reportes, libros, estadísticas, plan anual de desarrollo, censos, entre otros) acerca de los sectores socioeconómicos y enumerarlos.

b) Revisión de diferentes fuentes de información (reportes, libros, artículos científicos, entre otros) acerca de los BSE que prestan los bosques y SAF tropicales y enlistarlos.

c) Generar una matriz para determinar las relaciones existentes entre los sectores socioeconómicos y los BSE.

d) Seleccionar los sectores socioeconómicos y los BSE más importantes y que sean de interés para el presente trabajo.

Metodología

Para el objetivo a): se consultaron fuentes secundarias tales como:

⇒ Índice mensual de Actividad Económica (IMAE) 2001. Banco Central Nicaragua.

⇒ Situación económica y perspectivas: Istmo Centroamericano y República Dominicana. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

⇒ Informe de políticas de Desarrollo Nicaragua. 2005. Banco Mundial.

⇒ Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe, 2005. Comisión Económica para Latinoamérica (CEPAL)-ONU

⇒ Estadísticas Nacionales. Censo Nacional 1995. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) Gobierno de la República de Nicaragua.

⇒ República de Nicaragua, 2001. Primera Comunicación Nacional Nicaragua ante la CMNUCC.

⇒ Plan Nacional de Desarrollo, (PND, 2005-2009. Gobierno de la República de Nicaragua).

Para el objetivo b): Se consultaron las siguientes fuentes:

⇒ *Millenium Ecosystem* Assessment 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

⇒ Pagiola, S. *et al* 2004. Paying for Biodiversity Conservation Services in Agricultural Landscapes. Environment Department Paper No. 96. World Bank.

⇒ Pagiola, S. *et al* 2002. Selling forest environmental services. Market-based mecanism for conservation and development. EARTHSCAN.

⇒ Pagiola, S. y Patricia Silva. 2003. A Review of the Valuation of Environmental Costs and Benefits in World Bank Projects.

⇒ Constanza *et al* 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature (387).

⇒ Daily *et al* 1996, Ecosystems services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. Issues in Ecology, 2

⇒ Daily, G.C., 1997. Nature's Services, Societal Dependence on Natural Ecosystems Island Press, Washington, DC.

⇒ Daily, G. C. 1999. Developing a scientific basis for managing Earth's life support systems. Conservation Ecology **3**(2).

⇒ Daily, G.C. *et al*.2000. The value of nature and the nature of value. Science (289).

⇒ De Groot *et al* 2002, A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics: (41).

⇒ Landell-Mills, N. e Ina T. Porras.2002. ¿Bala de plata u oro de tontos? IIED.

⇒ Ewel *et al* 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. Global Ecology and Biogeography Letters: (7)

⇒ Farber *et* al 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem Services. Ecological Economics: (41)

Para el objetivo c): Para evaluar las relaciones existentes entre los intereses nacionales y los BSE se construyo una matriz, donde se asignaron valores de 0 a 6 de acuerdo al nivel de importancia de las relaciones existentes.

Los valores fueron asignados de acuerdo a los siguientes criterios:

Cuadro 15: Criterios utilizados en la valoración del vínculo entre intereses socioeconómicos y SE.

Valor	Criterio
0	No hay ningún vinculo
1	Vinculo débil
2	Vinculo entre débil y medio
3	Vinculo medio en algunos casos
4	Vinculo Medio
5	Vinculo fuerte, pero no siempre
6	Vinculo fuerte

Para el objetivo d): Para seleccionar los intereses nacionales se hicieron algunas consideraciones:

- Se consideró la sumatoria de los valores para los intereses y para los BSE.
- Se hizo un análisis de la frecuencia de los intereses y BSE que fueron valorados con 6 (vinculo fuerte).
- El último análisis fue considerando la frecuencia de los intereses nacionales y BSE cuyos valores fueron 5 y 6 (vinculo fuerte, pero no siempre y vinculo fuerte, respectivamente).

Se elaboró una tabla donde se relacionan, de acuerdo a su importancia, los intereses nacionales con los BSE que prestan los bosques y SAF.

Resultados

Definición de Sectores

Para efectos del presente trabajo, la definición que se manejara como sector es la siguiente: Sector es el conjunto de actores que comparte un interés común de desarrollo, por ejemplo, un grupo de empresas de producción e instituciones públicas generadoras de energía que

comparten el interés de generar energía limpia, a este grupo se le puede denominar sector, otro interés lo podría representar el "mejorar las condiciones de vida de los más pobres" cuyos actores pueden ser ONG, instancias privadas y/o gubernamentales. Dicho de otra forma, los sectores están definidos a partir de un interés que existe en generar y/o producir un bien y/o servicio que es demandado por la sociedad. Este interesa va a ser proveído por un grupo de personas o instituciones que tienen la capacidad de satisfacer dicho interés. Generalmente un interés puede ser compartido entre entes públicos y privados, locales y/o globales.

Objetivo a): Sectores reportados para Nicaragua

Cuadro 16: Intereses nacionales documentados

Sector	Intereses Nacionales	Código
Primario	Producir productos agrícolas	P-AGRIC
Primario	Aprovechar recursos de pesca, caza y plantas silvestres	P-RN
Primario	Producir productos pecuarios	P-PEC
Primario	Producir productos forestales	P-FOR
Secundario	Producir productos industriales y manufacturados	S-PIYM
Secundario	Extraer combustibles fósiles	S-CF
Secundario	Extraer productos minerales de minas y canteras	S-PMYC
Terciario	Proveer servicios de turismo, restaurantes y hoteles	T-TUR
Terciario	Producir energía limpia	T-EL
Terciario	Captar y tratar agua potable	T-CTA
Terciario	Proveer un servicio de tratamiento de aguas usadas	T-CTAU
Terciario	Proveer servicio de salud	T-PSAL
Terciario	Construir edificios y administrar bienes raíces	T-CEBR
Terciario	Proveer servicios financieros y de seguros	T-SFS
Terciario	Comercializar bienes y productos	T-CBP
Terciario	Transportar y almacenar bienes	T-TABS
Humano	Ofrecer servicio de telecomunicaciones	H-TEL
Humano	Mejorar los medios de vida de los más pobres	H-MVP
Humano	Mejorar y proteger las viviendas de la población	H-VIV
Humano	Producir y difundir conocimiento	H-CONO

Humano	Mejorar y proteger el capital de infraestructuras	H-INFR
Humano	Mejorar la salud y la atención social	H-SAS
Humano	Garantizar la seguridad ciudadana (atención a desastres)	H-SEG
Humano	Facilitar el acceso de toda la población a agua potable	H-AGUA
Humano	Aumentar el nivel de educación y de acceso a la cultura	H-EDUC
Humano	Proteger el patrimonio cultural del país	H-CULT

Objetivo b): Tipología de BSE que prestan los bosques y SAF tropicales

Como BSE se consideraron los siguientes de acuerdo a lo propuesto por Millenium Ecosystem Assessment (2005)

Cuadro 17: Bienes y servicios ecosistémicos considerados de interés

Función	BSE	Código
Provisión	Madera y otras fibras	P-Madfib
Provisión	Bioquímicos incluyendo medicinas naturales, farmacéuticos	P-Bioq
Provisión	Recursos genéticos	P-Recgen
Provisión	Alimentos	P-Alim
Provisión	Leña	P-Leña
Regulación	Protección de suelos, reducción de erosión y sedimentación	R-Suelos
Regulación	Agua (calidad)	R-Agcal
Regulación	Agua (cantidad)	R-Agcan
Regulación	Clima local y global	R-Clima
Regulación	Enfermedades, plagas	R-Enfyp
Regulación	Polinización	R-Pol
Servicio	Espirituales, religiosos, educacionales y de patrimonio cultural	S-Relig
Servicio	Recreación y turismo	S-Rectur
Servicio	Estéticos	S-Est.

Objetivo c): Generar una matriz para identificar elaciones entre los intereses nacionales y los BSE que prestan los bosques y SAF tropicales

En esta matriz se pretende visualizar los niveles de dependencia que tienen los sectores hacia los BSE, de acuerdo a la valoración ya comentada en páginas anteriores, se califican estos vínculos y se determina la importancia de estas relaciones.

Cuadro 18: Relaciones entre intereses nacionales y SE que prestan bosques y SAF tropicales

	SERVICIOS AMBIENTALES														
INTERÉS	**P-MADFIB**	**P-BIOQ**	**P-RECGEN**	**P-ALIM**	**P-LEÑA**	**R-SUELOS**	**R-AGCAL**	**R-AGCAN**	**R-CLIMA**	**R-ENFYP**	**R-POLI**	**S-RELIG**	**S-RECTUR**	**S-ESTE**	**TOTAL**
P-AGRIC						X		X	X		X				**4**
P-RN		X		X			X	X							**4**
P-PEC				X			X								**2**
P-FOR	X				X										**2**
S-PIYM		X													**1**
S-CF															**0**
S-PMYC															**0**
T-TUR							X					X	X	X	**4**
T-EL	X				X	X		X							**4**
T-CTA							X	X							**2**
T-CTAU										X					**1**
T-PSAL															**0**
T-CEBR						X									**1**
T-SFS															**0**
T-CBP															**0**
T-TABS															**0**
H-TEL															**0**
H-MVP	X	X		X	X	X	X	X							**7**
H-VIV	X					X		X							**3**
H-CONO		X	X							X					**3**
H-INFR	X					X		X							**3**
H-SAS		X					X			X					**3**
H-SEG						X		X							**2**
H-AGUA							X	X							**2**
H-EDUC												X			**1**
H-CULT										X					**1**
Total	**4**	**4**	**1**	**2**	**3**	**7**	**7**	**9**	**1**	**4**	**1**	**2**	**1**	**1**	

Cuadro 19: Intereses nacionales ordenados por importancia.

No.	INTERÉS NACIONAL	No.	INTERÉS NACIONAL
1	Mejorar los medios de vida de los más pobres	14	Facilitar el acceso de toda la población a agua potable
2	Producir productos agrícolas	15	Producir productos industriales y manufacturados
3	Aprovechar recursos de pesca, caza y plantas silvestres	16	Proveer un servicio de tratamiento de aguas usadas
4	Proveer servicios de turismo, restaurantes y hoteles	17	Proveer servicio de salud
5	Producir energía limpia	18	Construir edificios y administrar bienes raíces
6	Mejorar y proteger las viviendas de la población	19	Aumentar el nivel de educación y de acceso a la cultura
7	Producir y difundir conocimiento	20	Proteger el capital cultural del país
8	Mejorar y proteger el capital de infraestructuras	21	Extraer combustibles fósiles
9	Mejorar la salud y la atención social	22	Extraer productos minerales de minas y canteras
10	Producir productos pecuarios	23	Proveer servicios financieros y de seguros
11	Producir productos forestales	24	Comercializar bienes y productos
12	Captar y tratar agua potable	25	Transportar y almacenar bienes
13	Garantizar la seguridad ciudadana (incl. atención a desastres)	26	Ofrecer servicio de telecomunicaciones

En cuanto a los SE mas importantes y siguiendo el mismo criterio del numero de vínculos fuertes y vínculos fuertes pero no siempre (cuyo valor por importancia es 6 y 5 respectivamente) se observa que los SE más importantes son: regulación de agua (cantidad), protección de suelos, reducción de erosión y sedimentación, purificación de agua (calidad) clima local y global, productos bioquímicos incluyendo medicinas naturales y farmacéuticos, enfermedades y plagas, madera, (incluyendo fibras), leña, estéticos, recreación y turismo,

espirituales, religiosos, educacionales y de patrimonio cultural, recursos genéticos, alimentos y polinización.

Cuadro 20: SE ordenados por importancia

No.	SE	No.	SE
1	Regulación de agua	8	Leña
2	Protección de suelos, reducción de erosión y sedimentación	9	Estéticos
3	Purificación de agua (calidad)	10	Recreación y turismo
4	Clima local y global	11	Espirituales, religiosos, educacionales y de patrimonio cultural
5	Bioquímicos incluyendo medicinas naturales, farmacéuticos	12	Recursos genéticos
6	Enfermedades, plagas	13	Alimentos
7	Fibras (incluyendo madera)	14	Polinización

Objetivo d): Seleccionar los sectores socioeconómicos y los SE más importantes y que sean de interés para el presente trabajo

Partiendo de las listas anteriores y estableciendo prioridades entre los intereses nacionales y los SE que prestan los bosques y SAF, tendríamos una segunda lista de intereses, los cuales, se considera de manera preliminar, serán objeto de este trabajo:

Cuadro 21: Lista de sectores socioeconómicos importantes para el presente trabajo.

Interés Nacional
Mejorar los medios de vida de los más pobres
Producir productos agrícolas
Aprovechar recursos de pesca, caza y plantas silvestres
Proveer servicios de turismo, restaurantes y hoteles
Producir energía limpia
Mejorar y proteger las viviendas de la población
Producir y difundir conocimiento
Mejorar y proteger el capital de infraestructuras
Mejorar la salud y la atención social
Producir productos pecuarios
Producir productos forestales
Captar y tratar agua potable
Garantizar la seguridad ciudadana (incl. atención a desastres)

En cuanto a BSE y definiendo prioridades para este trabajo, los que se analizarían serian: agua (cantidad), protección de suelos, agua (calidad), fibras (incluyendo madera), leña, turismo, clima (local y global) y alimentos.

Cuadro 22: Lista de BSE importantes para el presente trabajo.

BSE	BSE
Agua (regulación) (cantidad)	Fibras (incluyendo madera)
Protección de suelos, reducción de erosión y sedimentación	Leña
Agua (purificación) (calidad)	Recreación y turismo
Clima local y global	Alimentos

En el cuadro anterior se observan las relaciones existentes entre los intereses y los BSE. El servicio ambiental hídrico (tanto en calidad como en cantidad) es el que está prácticamente relacionado con todos los intereses, desde poblaciones rurales hasta generación

de energía limpia debido a su importancia para sectores como agua potable y la generación de energía limpia.

Este resultado fue sometido al análisis de expertos representantes de instituciones vinculadas al tema durante el lanzamiento del proyecto TroFCCA.

Ellos coincidieron en priorizar la relevancia del sector energético y el agua potable para el desarrollo de la sociedad nicaragüense. Además, coincidieron en la necesidad de mantener el flujo de bienes y servicios ambientales producidos por los ecosistemas forestales. De esta manera y dada la importancia de estos sectores para Nicaragua y el vinculo de estos con los servicios ambientales, hídricos principalmente es que se seleccionaron los sectores hidroenergía y agua potable como casos de estudio para la identificación de bosques importantes

ANEXO 2.

Matriz de metodología

	Datos primarios			Transformación			
Criterio	**Fuente y año**	**Variables o categorías**	**Unidad mínima**	**Cálculo**	**Proceso SIG**	**Estandarización (Tipo y Definición de cero)**	**Producto**
Presencia							
Presencia Filo de agua	Informes CNE 2004, 2005 y 2006	MW	Microcuenca	NA	crear mapas filo de agua	NA	Mapa presencia filo de agua
Presencia embalse	Informes CNE 2004, 2005 y 2006 Datos HIDROGESA	MW	Microcuenca	NA	crear mapas embalses	NA	Mapa presencia embalse
Vulnerabilidad: Sensibilidad							
Sensibilidad a inundaciones	INTER 2001	Nivel de 0-10	Municipalidad	NA	NA	Lineal positiva. cero = nivel 0	Tablas índice INU
Sensibilidad de sequía	INTER 2001	Nivel de 0-10	Municipalidad	NA	NA	Lineal positiva. cero = nivel 0	Tablas índice SEQ
Sensibilidad a deslizamientos	INTER 2001	Nivel de 0-10	Municipalidad	NA	NA	Lineal positiva. cero = nivel 0	Tablas índice DES
Sensibilidad Amenazas naturales	Cálculos anteriores	Exposición Inundaciones	Municipalidad	Sumar INU + SEQ + DES	NA	Lineal positiva. Cero = suma nula	Tablas índice Exposición
	Cálculos anteriores	Exposición sequías	Municipalidad				
	Cálculos anteriores	Exposición deslizamientos	Municipalidad				
Vulnerabilidad: Capacidad adaptativa							
Organización local	E. Impacto ambiental E. factibilidad CNE: 2004, 2005, 2006 Datos HIDROGESA	Niveles de organización local	Microcuenca	Categorizar 0, 1, 2, 3 (ver texto)	NA	Lineal positiva. Cero = categoría 0	Tablas ORG
Presencia institucional	E. Impacto ambiental E. factibilidad CNE: 2004, 2005, 2006 Datos HIDROGESA	Relación de instituciones presentes	Microcuenca	Categorizar 0, 1, 2, 3 (ver texto)	NA	Lineal positiva. Cero = categoría 0	Tablas INS

Plan de Manejo de cuencas	E. Impacto ambiental E. factibilidad CNE: 2004, 2005, 2006 Datos HIDROGESA	Existencia de un plan de manejo de cuencas	Microcuenca	Categorizar 0, 1, 2, 3 (ver texto)	NA	Lineal positiva. Cero = categoría 0	Tablas PLA
Capacidad Adaptabilidad	Cálculos anteriores	Organización local (ORG)	Microcuenca	Sumar ORG+INS+PLA	NA	Lineal positiva. Cero = suma nula	Tablas CAP
	Cálculos anteriores	Presencia institucional (INS)	Microcuenca				
	Cálculos anteriores	Plan de manejo de cuencas (PLA)	Microcuenca				
Vulnerabilidad							
Vulnerabilidad	Cálculos anteriores	Índice EXP	Municipalidad		Crear mapa municipalidad overlay microcuenca	Lineal positiva cero = mínimo (EXP-CAP)	Mapa de Vulnerabilidad por Microcuenca
	Cálculos anteriores	Índice CAP	Microcuenca		- Crear mapa microcuenca CAP - Restar (EXP-CAP) nivel microcuenca		
Área							
Área de bosques por microcuenca	Mapa de usos del suelo	32 de usos de suelo	Pixel bosque 28.5	Sumar los 10 tipos de bosques	overlay área de bosque microcuenca	NA	Mapa uso bosque por microcuenca
Área de Cultivos Anuales por microcuenca	Mapa de usos del suelo	32 de usos de suelo	Pixel cultivos anuales 28.5	Sumar los 3 tipos de cultivos anuales	overlay área C. anuales microcuenca	NA	Mapa uso cultivos anuales microcuenca
Área de Cultivos Perennes por microcuenca	Mapa de usos del suelo	32 de usos de suelo	Pixel cultivos perennes 28.5	Sumar los 8 tipos de cultivos perenes	overlay área C. perennes microcuenca	NA	Mapa uso cultivos perennes microcuenca
Área de Pasturas por microcuenca	Mapa de usos del suelo	32 de usos de suelo	Pixel pasturas 28.5	Sumar los 2 tipos de Pasturas	overlay área pasturas microcuenca	NA	Mapa uso pasturas microcuenca
Área de Otros usos por microcuenca	Mapa de usos del suelo	32 de usos de suelo	Pixel otros usos del suelo 28.5	Sumar los 9 tipos de otros usos	overlay área otros usos microcuenca	NA	Mapa uso otros usos microcuenca

Mapas de sensibilidad (INETER 2001)

ANEXO 3. MAPAS DE AMENAZAS NATURALES

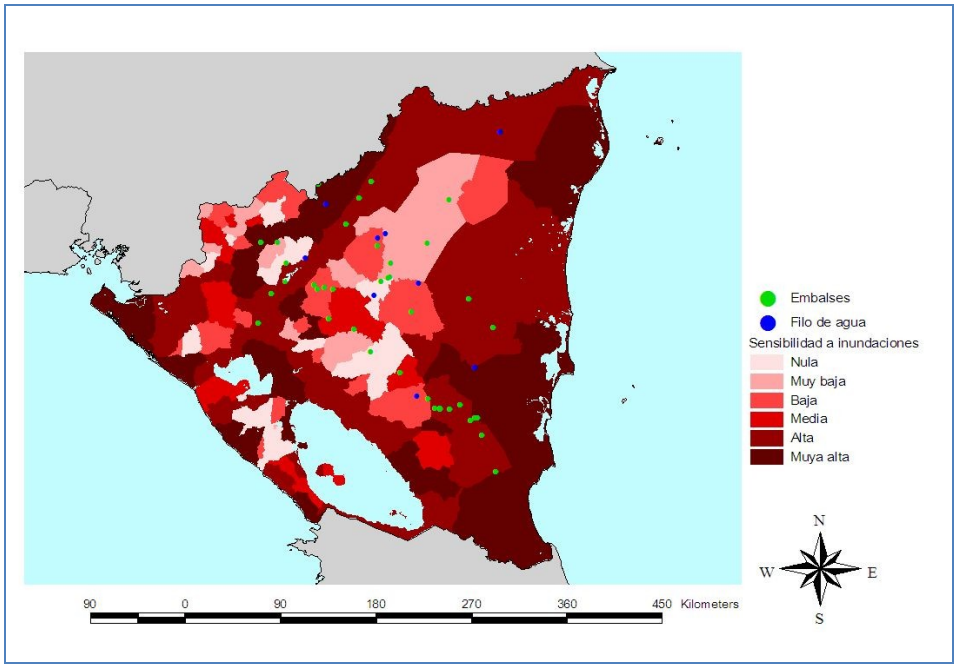

Figura 23: Sensibilidad a inundaciones

Fuente: INETER 2001

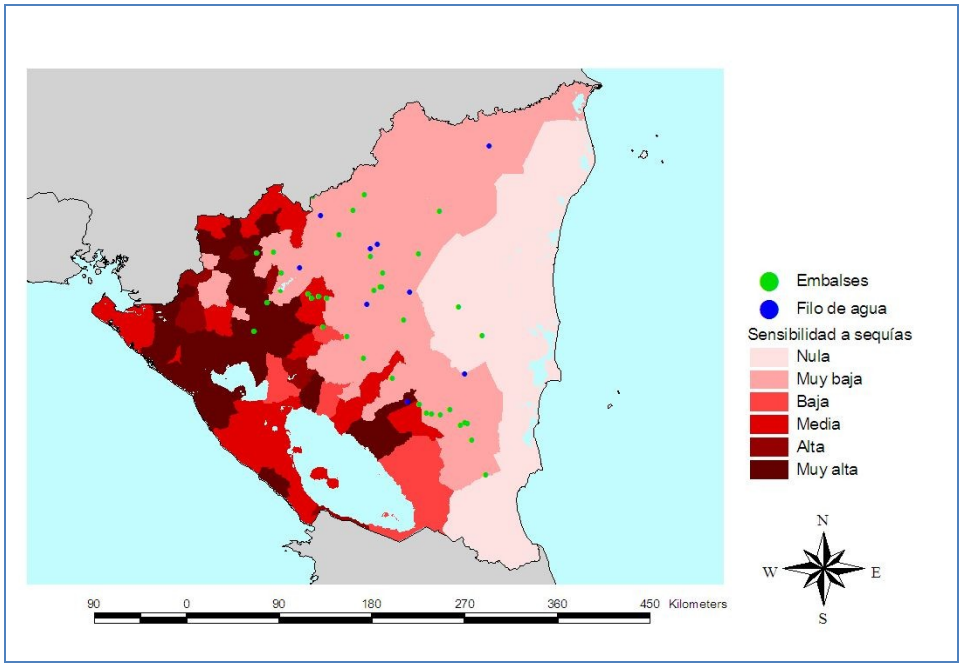

Figura 24: Sensibilidad a sequías

Fuente: INETER 2001

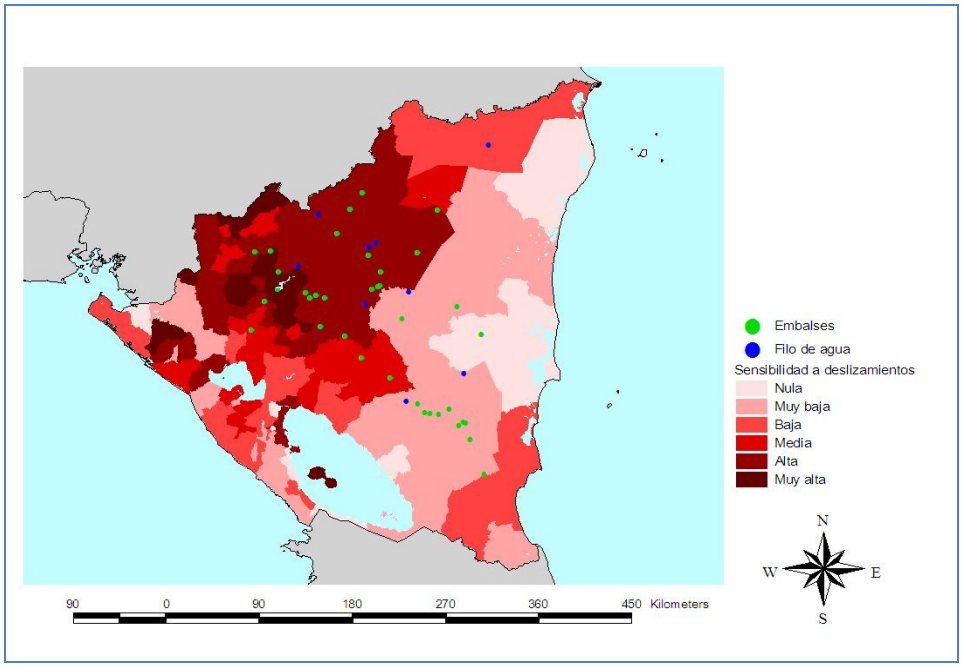

Figura 25: Sensibilidad a deslizamientos

Fuente: INETER 2001