

**Evaluación del efecto del uso del suelo sobre la sensibilidad al cambio
climático en la zona de la costa norte de Honduras**

Arie Sanders, Denisse McLean y Alexandra Manueles

© 2013 Lincoln Institute of Land Policy

**Documento de Trabajo del
Lincoln Institute of Land Policy**

Los resultados y conclusiones de este documento de trabajo reflejan la opinión de los autores y no han sido sometidos a una revisión detallada por el personal de Lincoln Institute of Land Policy

Si tiene alguna pregunta o quiere reproducir este documento, póngase en contacto con el Instituto Lincoln. help@lincolninst.edu

Lincoln Institute Product Code: WP14AS1SP

Resumen

En este artículo se examina el efecto del uso del suelo, y del cambio en el uso del suelo, sobre la sensibilidad al cambio climático en la costa norte de Honduras. Para alcanzar este objetivo, se efectuaron simulaciones para analizar las variaciones espaciales y temporales de sensibilidad derivadas de las diferencias en el uso del suelo, y sus implicaciones sobre la política del uso del suelo como herramienta de adaptación al cambio climático en la gestión integrada de zonas costeras. Desarrollamos dos escenarios (escenario de tendencia y escenario normativo) para distintas evoluciones del desarrollo espacial de la región para el período 2010–2050. El cambio más grande en el escenario de tendencia, correspondiente a la persistencia de la situación actual, sería un descenso de las tierras en pastoreo (19,4 por ciento) y los bosques (8,1 por ciento) como resultado de un aumento en las plantaciones de palma africana. Habría más fragmentación y la región se haría más vulnerable al cambio climático. En el caso del escenario normativo, esperamos una reducción del 50,2 por ciento en actividades de ganadería extensiva y un aumento del 18,3 por ciento en el área forestal latifoliada, haciendo que la región sea menos vulnerable al cambio climático. Los gobiernos locales y el gobierno nacional juegan un papel decisivo para asegurar la implementación de sus políticas del uso del suelo (escenario normativo) y para proteger la región contra el impacto del cambio climático.

Palabras clave: uso del suelo, cambio climático, Honduras, gestión integrada de zonas costeras.

Sobre los autores

Arie Sanders es profesor asociado del Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Zamorano en Honduras. Recibió un título de maestría en la Universidad Wageningen en los Países Bajos. Trabajó durante ocho años como consultor-investigador en el Centro de Estudios de Desarrollo Rural de la Universidad Libre (Ámsterdam) en Costa Rica. En la actualidad es profesor asociado y jefe del Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Zamorano en Honduras. Además de enseñar, el Sr. Sanders está activamente involucrado en investigaciones sobre desarrollo rural y agrícola, y es coordinador de la Iniciativa de Monitoreo Socioeconómico financiada por NOAA en las zonas costeras de los países de habla hispana del Caribe. Ha colaborado recientemente en estudios sobre el consumo de leña en la parte rural de Honduras (CEPAL), el impacto socioeconómico del maíz transgénico (IFPRI) y el análisis económico de comunidades costeras en el norte de Honduras (NOAA). Contacto: asanders@zamorano.edu

Denisse McLean es una investigadora académica de PIPRA en la Universidad de California, Davis. Recibió una licenciatura en Desarrollo Socioeconómico y Medio Ambiente y trabajó por cuatro años como asistente de investigación en el Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Zamorano en Honduras. Participó en la coordinación de los escenarios y el componente de capacitación para modelar el cambio del uso del suelo y la biodiversidad en América Central utilizando el indicador de abundancia media de especies (CBD). También participó en el desarrollo de un modelo socioeconómico desagregado de hogares para las comunidades costeras del norte de Honduras (NOAA). En su proyecto actual está analizando el caso de Honduras como un modelo de país en vías de desarrollo para la adopción de cultivos genéticamente modificados. Contacto: mclean.denisse@gmail.com

Alexandra Manueles es coordinadora de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y profesora asistente del Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Zamorano. Recibió una maestría en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Alcalá en Madrid, España. En la actualidad dicta una clase de SIG y coordina las actividades de SIG en el módulo Aprendizaje Práctico en topografía. Desde 2008, la Sra. Manueles ha estado involucrada en distintos proyectos de investigación relacionados con el análisis espacial, incluyendo escenarios de cambio en el uso del suelo, modelación de suelos y agua, escenarios de cambio climático, y modelación de biodiversidad (CBD). Contacto: amanueles@zamorano.edu

Reconocimientos

Quisiéramos agradecer el respaldo del “Proyecto de Gestión Sostenible de los Recursos Naturales y Cuencas del Corredor Biológico Mesoamericano en el Atlántico Hondureño (PROCORREDOR)” por brindarnos acceso a su base de datos geográfica. También agradecemos el asesoramiento y respaldo financiero provisto por el Lincoln Institute of Land Policy para la implementación de este estudio.

Índice

Introducción	1
Metodología	3
Sensibilidad al cambio climático	3
Modelo CLUE.....	6
Fragmentación.....	9
Área de estudio	10
Cambios en el uso del suelo en el norte de Honduras.....	12
Categorías del uso del suelo.....	12
Escenarios de cambio en el uso del suelo	16
Sensibilidad de las categorías del uso del suelo al CC	18
Fragmentación.....	20
Aumento en el nivel del mar	22
Sensibilidad al cambio climático	23
Discusión.....	26
Conclusiones.....	28
Referencias.....	30

Tablas

Tabla 1. Categorías del uso del suelo en el Departamento de Atlántida 2010.....	13
Tabla 2: Resultados del análisis de regresión	15
Tabla 3: Sensibilidades al MTC y MPC estimadas por categoría del uso del suelo.....	20

Figuras

Figura 1: Marco metodológico para modelar el uso futuro del suelo con CLUE.....	7
Figura 2. Mapa de las municipalidades del departamento de Atlántida, Honduras.....	11
Figura 3: Uso observado y simulado del suelo para el escenario E1 y E2	17
Figura 4. Cambio del uso del suelo entre 2010 y 2050; escenario de tendencia E1 y escenario normativo E2	18
Figura 5: Métricas de paisaje para parches de cambio en el uso del suelo (a) cantidad de parches, (b) densidad de parches, (c) área media de parche, (d) media ponderada del área de parche, (e) proporción de adyacencias similares, (f) índice de agregación.....	22
Figura 6: Elevación digital y modelo de aumento del nivel del mar en el Departamento de Atlántida, 2050	23
Figura 7: Sensibilidad al cambio climático a nivel de cobertura del suelo: (a) estado actual; (b) escenario de tendencia; (c) escenario normativo	25
Figura 8: Sensibilidad al cambio climático a nivel de aldea: (a) estado actual; (b) escenario de tendencia; (c) escenario normativo	26

Evaluación del efecto del uso del suelo sobre la sensibilidad al cambio climático en la zona de la costa norte de Honduras

Introducción

Debido a su ubicación geográfica, la costa norte de Honduras es una de las áreas más vulnerables a tormentas y huracanes de la cuenca del Caribe (IPCC 2007). No obstante, el cambio climático (CC) ha aumentado la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos. El impacto proyectado del CC sobre la región del Caribe involucra un aumento en el nivel del mar, ciclones tropicales más intensos, alteración de las lluvias, oleadas de tormenta y un aumento en las temperaturas del mar. Según Schatan et al. (2010), los escenarios sobre los efectos del cambio climático en el norte de Honduras pronostican condiciones climáticas cada vez más extremas. Además, la vulnerabilidad de la región se hace más severa por las limitaciones de recursos en las estructuras de gobierno, las altas tasas de crecimiento de la población y de urbanización, como también la planificación pobre del uso del suelo, lo que provoca degradación ambiental y destrucción del hábitat.

El rápido desarrollo del norte de Honduras en las últimas décadas ha modificado drásticamente su paisaje geográfico. La falta de planificación espacial no sólo ha creado competencia y conflicto entre los distintos usos del suelo, ya sea residencial, industrial, recreativo o agrícola, sino que también ha deteriorado la capacidad de los ecosistemas existentes para resistir las consecuencias del CC. A pesar de los esfuerzos de conservación en curso iniciados por el gobierno nacional, los niveles de deforestación de bosques latifoliados y manglares como consecuencia de las actividades agrícolas y la urbanización siguen siendo altos. Una degradación mayor del ecosistema puede provocar cambios en la costa del norte, incluyendo una reducción de la precipitación y un aumento de las sequías, haciendo que la región sea vulnerable al CC.

En años recientes se ha reclamado con más insistencia una gestión más integrada de la costa norte de Honduras como prerrequisito fundamental para el desarrollo sostenible. Un buen ejemplo es el Proyecto de Corredor Biológico (PROCORREDOR), administrado por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), para establecer e implementar un plan de gestión integral para las áreas protegidas de la costa norte. No obstante, se ha prestado poca atención a la conversión del uso del suelo debido a actividades humanas y el cambio climático, el cual genera graves formas de degradación ambiental y destrucción del hábitat en la costa norte.

Aún con la reconocida importancia de los efectos del CC sobre la vulnerabilidad de las poblaciones humanas, las evaluaciones climáticas en Honduras han explorado en su mayoría la sensibilidad a fenómenos naturales recurrentes (Argeñal 2010; COPECO 2010). Las evaluaciones realizadas por la Comisión Permanente de Contingencia (COPECO) exploran la sensibilidad a inundaciones fluviales, aludes, sequías e incendios forestales a nivel municipal para algunos, no todos, los municipios del país. En la exploración de patrones climáticos extremos debido al CC y sus implicaciones para los asentamientos humanos sólo se ha visto un progreso modesto.

Las pocas evaluaciones del CC que se han realizado en Honduras se concentran en el impacto sobre los recursos hídricos y estrategias de adaptación en las cuencas hidrográficas (MIRA 2005; SERNA 2006a 2006b 2007). Sin embargo, los determinantes de la respuesta humana a las anomalías climáticas están relacionados no sólo con la respuesta de los sistemas naturales, sino con las características económicas, sociales y culturales que definen las poblaciones humanas (Klein et al, 1999). Estas características se reflejan en los modos en que las comunidades hacen uso de los recursos disponibles. Una manifestación evidente de esto son los patrones del uso del suelo en la región y los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo.

Las características del uso del suelo de una población en un área geográfica dada revelan en forma directa las actividades principales que se realizan, su nivel de intensidad, su importancia relativa y la competencia y el conflicto potencial entre ellas. Indirectamente, los patrones del uso del suelo revelan las prioridades de la población, sus hábitos y el costo de oportunidad asociados a ellos. Más aún, dada la aptitud natural de un lugar para ciertos usos del suelo, las disposiciones alternativas de distribución del uso del suelo pueden influir en el estado y la productividad de los sistemas naturales, económicos y sociales interrelacionados. Por lo tanto, el uso del suelo proporciona un marco de referencia adecuado para analizar las características de la población y cómo afectan la capacidad de la población para adaptarse a eventos climáticos extremos.

El objetivo de este documento es, por tanto, examinar el efecto del uso del suelo y del cambio en el uso del suelo sobre la sensibilidad al cambio climático en la costa norte de Honduras. Para alcanzar este objetivo, efectuamos simulaciones para analizar las variaciones espaciales y temporales de sensibilidad derivadas de las diferencias en el uso del suelo, y sus implicaciones sobre las políticas del uso del suelo como herramienta de adaptación al cambio climático en la gestión integrada de zonas costeras (GIZC). Al combinar los escenarios de cambio en el uso del suelo con datos de sensibilidad del uso del suelo, este estudio analizará cómo el cambio climático podría afectar la región en el futuro cercano. Las preguntas de investigación específicas derivadas de la hipótesis subyacente considerada en este estudio fueron las siguientes: a) ¿Existe una relación entre el uso del suelo y la sensibilidad al cambio climático? b) De ser así, ¿cuál es la magnitud y dirección de la influencia de cada categoría del uso del suelo sobre la sensibilidad al cambio climático?; c) Dada una composición particular de los usos del suelo en un área dada, ¿existe una relación entre disposiciones alternativas de los usos del suelo y la sensibilidad al cambio climático?; y d) A partir de las respuestas precedentes, ¿qué medidas de adaptación podrían tomar las autoridades para reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 describe la metodología y los escenarios utilizados para las simulaciones del modelo. Utilizamos una combinación de distintos métodos para el análisis del uso del suelo, incluyendo la obtención de juicios de expertos para estimar la sensibilidad del uso del suelo al cambio climático. La sección 3 presenta las características principales de la zona costera norte de Honduras. La sección 4 presenta e interpreta los resultados de las simulaciones del modelo. Simulamos dos escenarios para tener en cuenta distintas tendencias de desarrollo espacial para el período 2010–2050. La sección 5 describe las implicaciones políticas y resume las conclusiones principales.

Metodología

Sensibilidad al cambio climático

Para poder lidiar con el cambio climático y el cambio en el uso del suelo en un contexto de gestión de zona costera, hay que recurrir a una amplia gama de conceptos, herramientas y metodologías analíticas. Para este estudio hemos decidido limitar nuestro enfoque a simular los escenarios de cambio climático esperados elaborados por IPCC para las zonas costeras, y determinar sus implicaciones para la vulnerabilidad de la región. El marco conceptual de referencia adoptado es la definición de *vulnerabilidad al cambio climático* y términos relacionados, tales como el enfoque de *Exposición-Sensibilidad-Capacidad de Adaptación*, provistos por el IPCC (IPCC 2007). La *exposición* climática se refiere a la naturaleza y el grado en que los ecosistemas se exponen a cambios ambientales, tales como el aumento en el nivel del mar y los cambios en los patrones climáticos. La definición de *sensibilidad* es el grado en que un sistema ambiental-humano es afectado por el cambio ambiental, ya sea en forma adversa o beneficiosa. La *capacidad de adaptación* se refiere al potencial para implementar medidas planificadas de adaptación.

En este estudio consideramos tres tipos de impactos derivados de cambios climáticos posibles sobre la región: Aumento en el nivel del mar (*Sea Level Rise*, o SLR por su sigla en inglés), cambio en la temperatura media (*Mean Temperatura Change*, o MTC por su sigla en inglés) y cambio en la precipitación media (*Mean Precipitation Change*, o MPT por su sigla en inglés). Aproximadamente el 85 por ciento de las catástrofes naturales en América Central se relacionan con inundaciones y sequías (CEPAL 2010). Los escenarios de cambio climático para América Central sugieren que, dependiendo de si es la temporada de lluvias o la temporada seca, la probabilidad de una frecuencia mayor de inundaciones y sequías, respectivamente es significativa (CEPAL 2010). La Estrategia Nacional para el Cambio Climático (SERNA 2010) estima aumentos en el nivel del mar de hasta 0,6 m para Honduras para el año 2100. Los escenarios A2 y B2 del IPCC adaptados para Honduras por Argeñal (2010) exploraron los efectos del cambio climático sobre la temperatura media mensual y la precipitación media mensual. Los resultados para el Departamento de Atlántida muestran que para el año 2050 se espera que la temperatura media mensual aumente entre 1,4 y 1,9° C, y se espera que la precipitación media mensual se reduzca entre el 2 y el 25 por ciento, dependiendo del mes del año.

Para este estudio se utilizó el mapa más reciente del uso del suelo para la zona, elaborado por la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) para el proyecto PROCORREDOR en 2010. Se determinaron 300 puntos de control terrestres utilizando un GPS de alta precisión a lo largo de la carretera principal del área de estudio como verificación de campo. Se desagregaron las distintas intensidades del uso del suelo con cobertura similar en categorías adicionales del uso del suelo, para poder estimar mejor las sensibilidades a los cambios climáticos. También se validaron los mapas administrativos y de carreteras.

Siguiendo las recomendaciones emergentes de los expertos locales durante las reuniones iniciales, se desarrolló un mapa mejorado de uso/cobertura del suelo por medio de interpretaciones fotográficas aéreas de 0,3 metros de resolución proporcionadas por

PROCORREDOR. La clasificación del uso del suelo empleada en esta interpretación se basó en la metodología de Cobertura de Suelo CORINE Land Cover. El mapa mejorado del uso del suelo fue generado a una escala de 1:1.500, y la unidad mínima de cartografía de 225 metros cuadrados.

La exposición al SLR se simuló usando un modelo de inundación que proyecta un aumento en el nivel del mar de 0,5 m para el año 2050. Usando los puntos de elevación obtenidos de un vuelo fotogramétrico de PROCORREDOR se desarrolló un Modelo de Elevación Digital (*Digital Elevation Model*, o DEM) de 5 metros de resolución. Con este DEM, se seleccionaron todos los píxeles con 0 ó 1 metro de elevación como áreas inundables para el año 2050. Siguiendo la metodología de Yoo et al. (2001), se estimó la sensibilidad al SLR como porcentaje del área inundable en cada categoría del uso del suelo, municipalidad y pueblo en el departamento, para poder identificar las entidades más vulnerables a distintas escalas, de manera que:

$$SSLR_i = FA_i/A_i * -1$$

Donde:

- $SSLR_i$ = Sensibilidad del uso del suelo, municipalidad o pueblo i al aumento del nivel de mar
- FA_i = Área inundada en el uso del suelo, municipalidad o pueblo i
- A_i = Área total del uso del suelo, municipalidad o pueblo i en el paisaje

La sensibilidad al MTC y al MPC fueron estimadas por medio de juicios de expertos, una técnica de investigación cualitativa utilizada para la toma de decisiones y el análisis de riesgo para pronosticar la ocurrencia de eventos futuros y las consecuencias de dichas decisiones basándose en las opiniones, conocimientos y experiencias de expertos (Keeney et al. 1991; Lannoy & Procaccia 2001; Martin et al. 2012). Esta metodología se emplea en general en áreas donde la información sobre los parámetros del modelo es incierta o incompleta, y en los casos donde no resulta viable obtener evidencia empírica.

Se utilizaron las pautas proporcionadas por ACERA (2007; 2008; 2010) y EPA (2011) para desarrollar el cuestionario, seleccionar el panel de expertos, diseñar y realizar la consulta, y agregar los resultados del estudio. Se incluyeron en el cuestionario y el protocolo de consulta consideraciones explícitas para reducir al mínimo el exceso de confianza y sesgos de anclaje, motivacionales y de accesibilidad. Dada la diversidad de disciplinas que se requerían del panel de expertos, y la ubicación y disponibilidad de los expertos seleccionados, se empleó un protocolo de consulta electrónico de una sola fase para capturar mejor la amplitud y profundidad de la información sobre las distintas categorías del uso del suelo.

El cuestionario fue completado por once expertos de universidades, organizaciones públicas y no gubernamentales en el campo de recursos naturales, áreas protegidas, agricultura, zonas costeras, recursos hídricos y áreas urbanas en el Departamento de Atlántida. Durante la consulta, se proporcionaron como información preliminar los niveles de cambio en la MT y MP de acuerdo a los escenarios estimados de cambio climático para Honduras estimados por Argeñal (2010). Se solicitó a los expertos que proporcionaran estimaciones ordinales de sensibilidades al MTC y MPC para las distintas categorías del uso del suelo. Para cada categoría, las estimaciones transformadas en sus equivalentes escalares se promediaron usando como ponderación la

autoevaluación del nivel de confianza de los expertos sobre su conocimiento por categoría del uso del suelo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SCS_{jk} = \frac{\sum_{l=1}^n [(SCS_{jkl}] * CL_{kl})}{\sum_{l=1}^n CL_{kl}}$$

Donde:

- SCS_{jk} = Sensibilidad a los estímulos climáticos j para el uso del suelo k
- SCS_{jkl} = Sensibilidad a los estímulos climáticos j para el uso del suelo k reportado por el experto l
- CL_{kl} = Nivel de confianza sobre el conocimiento del uso del suelo k reportado por el experto l
- n = Cantidad total de expertos

Las respuestas se normalizaron en una escala de -1 a +1, donde -1 quiere decir que el uso del suelo es afectado en forma extrema y +1 quiere decir que el uso del suelo se beneficia en forma extrema por los estímulos climáticos considerados. Se estimaron los índices de sensibilidad al MTC y MPC de las municipalidades y los pueblos sumando los puntajes de sensibilidad de la categoría del uso del suelo y ponderándolos por área, utilizando la siguiente ecuación:

$$SCS_{ji} = \sum_{k=1}^m (SCS_{jk} * A_{ki} / A_i)$$

Donde:

- SCS_{ij} = Sensibilidad a los estímulos climáticos j para la municipalidad o pueblo i
- SCS_{jk} = Sensibilidad a los estímulos climáticos j para el uso del suelo k
- A_{ki} = Área ocupada por el uso del suelo k en la municipalidad o pueblo i
- A_i = Área total de la municipalidad o pueblo i
- m = Cantidad total de usos del suelo

Para poner a prueba una estrategia de adaptación basada en el uso del suelo, se evaluó la sensibilidad bajo las condiciones del uso del suelo actuales y para dos escenarios en el año 2050: (1) un escenario exploratorio que proyecta las tendencias esperadas en el uso del suelo; y (2) un escenario normativo que supone un ordenamiento firme del uso del suelo en áreas urbanas, agrícolas y naturales. Para diseñar estos escenarios, durante el ejercicio de consulta, se solicitó a los expertos que proporcionaran sus mejores estimaciones de los cambios esperados en el área ocupada por cada categoría del uso del suelo en el futuro, con un grado correspondiente de incertidumbre. Se determinaron los cambios en la categoría del uso del suelo para el primer escenario de acuerdo a las estimaciones ponderadas de confianza proporcionadas por los expertos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta_k = \frac{\sum_{l=1}^n [(\Delta_{kl}] * CL_{\Delta_{kl}})}{\sum_{l=1}^n CL_{\Delta_{kl}}}$$

Donde:

- Δ_k = Cambio esperado en el uso de suelo k
- Δ_{kl} = Cambio esperado en el uso de suelo k pronosticado por el experto l

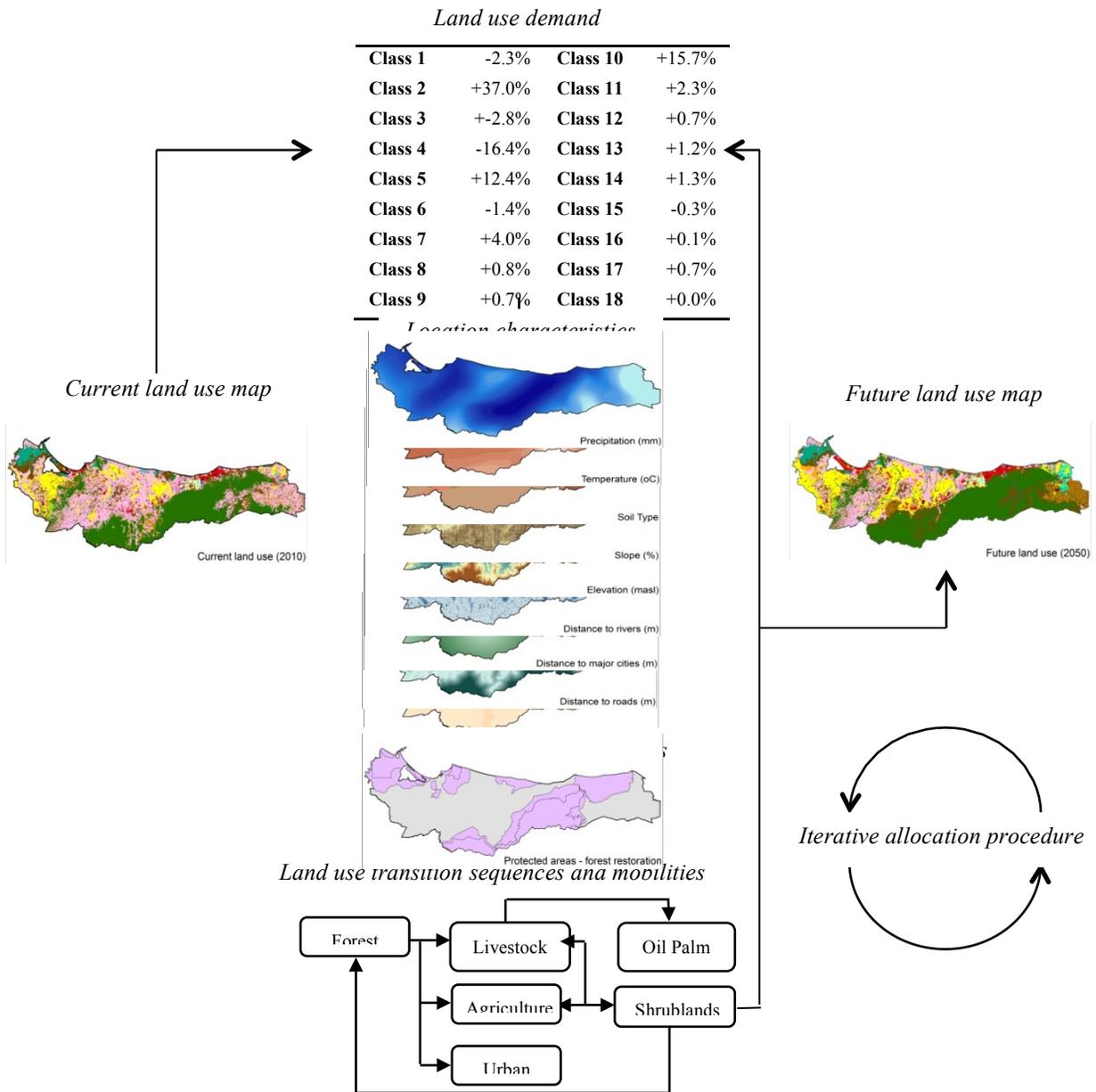
- $CL\Delta_{kl}$ = Confianza en el intervalo de cambio pronosticado para el uso del suelo k por el experto l
- n = Cantidad total de expertos

Para el segundo escenario, se determinaron los cambios en el uso del suelo de acuerdo a un esquema de zonificación del plan regional de ordenamiento territorial que se está desarrollando para el Departamento de Atlántida por PROCORREDOR (2012).

Modelo CLUE

Se utilizó la metodología CLUE (Cambios en el Uso del Suelo y sus Efectos) para asignar los cambios estimados en el uso del suelo en los escenarios, sujetos a reglas y restricciones espaciales (Verburg et al. 1999; Verburg y Overmars 2009). Comenzando con el mapa y la distribución del uso del suelo actual, el modelo CLUE ejecuta un proceso dinámico de asignación de acuerdo a la competencia entre las demandas futuras por los distintos usos del suelo (establecida por una tabla de demanda del uso del suelo) y las restricciones espaciales de los factores que determinan la aptitud de cada unidad de suelo para un uso en particular. Estos factores incluyen las características geográficas, climáticas, demográficas y de accesibilidad de un área (establecidas por una serie de modelos de regresión logística binaria), las políticas espaciales que restringen o alientan los patrones del uso del suelo en una cierta área (establecidas por los mapas y reglas de restricción de cambios de uso del suelo), las secuencias naturales de transición entre usos del suelo (establecidas por una matriz de reglas de transición) y la movilidad relativa de las distintas categorías del uso del suelo (establecidas por un indicador de elasticidades de conversión). El modelo combina un módulo no espacial donde se especifican las descripciones cualitativas y cuantitativas del escenario, las demandas agregadas para cada uso del suelo y otros parámetros del modelo, con un módulo espacial que simula la competencia dinámica y distribuye las demandas del uso del suelo conforme a reglas definidas (figura 1).

Figura 1: Marco metodológico para modelar el uso futuro del suelo con CLUE



Para caracterizar la ocurrencia de cada categoría del uso del suelo, se graficaron los factores de ubicación como variables independientes contra la distribución actual de cada uso del suelo en los modelos de regresión logística binaria. Las regresiones identificaron qué características de un área fueron significativas para determinar la ocurrencia de cada tipo de uso del suelo (suponiendo que el patrón del uso de suelo actual representa la asignación según la mejor aptitud). El modelo representa la aptitud del área estimando la probabilidad de ocurrencia de cada categoría del uso del suelo basada en los coeficientes de la regresión logística para cada celda o pixel sobre la superficie, utilizando la siguiente ecuación:

$$\log \left[\frac{P_{ku}}{1 - P_{ku}} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_{1,k} + \beta_2 X_{2,k} \dots + \beta_n X_{n,k}$$

Donde:

- P_{ku} = Probabilidad de ocurrencia del uso del suelo k en la celda u de la superficie
- X = Factores de ubicación geográfica, climáticos, demográficos y de accesibilidad incluidos en la regresión
- β = Coeficiente de regresión logística binaria para los factores correspondientes

Esto permite determinar qué uso del suelo tendría la mayor probabilidad de establecerse en las celdas de la superficie, dadas sus características. Para asignar los cambios en el uso del suelo especificados como demandas futuras en los escenarios para cada unidad de tiempo, el modelo identifica primero qué celdas pueden cambiar, dadas las reglas de restricción y la matriz de transición. Después se estima la probabilidad total de ocurrencia para cada clase del uso del suelo para cada celda de la superficie combinando:

$$TP_{ku} = P_{ku} + ELAS_k + ITER_k$$

Donde:

- TP_{ku} = Probabilidad total de ocurrencia del uso del suelo k en la celda u de la superficie
- P_{ku} = Probabilidad de ocurrencia del uso del suelo k en la celda u de la superficie estimada de acuerdo al modelo logit
- $ELAS_k$ = Elasticidad de conversión para el uso del suelo k añadida *solamente* cuando la celda u de la superficie ya está bajo el uso del suelo k
- $ITER_k$ = Variable de iteración para el uso del suelo k

El parámetro $ELAS_k$ de elasticidad de conversión para cada uso del suelo varía entre 0 y 1, donde 0 indica que la conversión es fácilmente reversible (el uso del suelo se puede reasignar de una ubicación a otra) y 1 indica que la conversión es difícil de revertir (el uso es más difícil de reasignar). Se utiliza como medida de la tendencia de un área a mantenerse el uso actual del suelo. El parámetro de iteración $ITER_k$ representa la ventaja competitiva de cada uso del suelo. Comienza teniendo el mismo valor para todos los tipos del uso del suelo, cuando el modelo asigna el uso del suelo con la preferencia más alta en cada celda de la superficie. Después el modelo compara el área asignada con la demanda especificada en la tabla de demanda y modifica el parámetro de iteración para asignar una mayor preferencia a los usos donde la demanda establecida sobrepasa el área asignada en la modelación y viceversa. Este procedimiento se repite sucesivamente hasta que el área asignada en la modelación satisface la demanda especificada para cada unidad de tiempo, hasta completar el todos los períodos del modelo.

Se usaron los mapas del uso futuro del suelo obtenidos del modelo CLUE para cada escenario para reevaluar la sensibilidad al cambio climático usando la metodología descrita en la sección anterior. Al comparar el estado actual con los escenarios futuros, se pudieron identificar las tendencias principales en la sensibilidad del cambio climático. Al comparar las sensibilidades

entre un escenario y otro, se pudieron explorar los efectos de estrategias de adaptación de usos alternativos del suelo sobre la magnitud y distribución de los cambios en la sensibilidad.

Fragmentación

Para evaluar la fragmentación del paisaje en el estado actual y en los escenarios de usos futuros del suelo, se estimó un juego de métricas de fragmentación para las categorías naturales del uso del suelo usando el Programa de Análisis de Patrones Espaciales FRAGSTAT, versión 4 (McGarigal y Cushman 2012). Estas métricas incluyeron la cantidad total de parches, la densidad de parches (número de parches por unidad de área), el área media del parche, la proporción de adyacencias similares y los índices de proximidad, conectividad y cohesión.

De acuerdo a la metodología de McGarigal y Cushman (2012), se estimó el porcentaje de adyacencias similares como:

$$PLADJ = \left(g_{kk} \left| \sum_{k=1}^n g_{ko} \right. \right) (100)$$

Donde:

- g_{kk} = Cantidad de adyacencias similares o uniones entre celdas de la superficie con el mismo uso del suelo k
- g_{ko} = Cantidad de adyacencias entre celdas de la superficie con el uso del suelo k y todos los usos distintos del suelo o

El índice oscila entre 0 y 100, desde máxima desagregación (sin adyacencias similares, es decir parches de una sola celda rodeados por parches de categorías distintas del uso del suelo) hasta máxima agregación (sólo adyacencias similares, es decir paisajes que se componen de un solo uso del suelo asignado en un parche).

El índice de proximidad se estimó como:

$$PROX = \sum_{a=1}^n A_{ab} / d_{ab}^2$$

Donde:

- A_{ab} = Área del parche a en el vecindario especificado del parche b , donde a y b son parches del mismo uso del suelo.
- d_{ab}^2 = Distancia cuadrática entre el parche a y el parche b , calculada del centro de una celda al centro de la otra.

El índice oscila de 0 a más, donde 0 representa un parche sin vecinos de la misma clase del uso del suelo dentro del perímetro especificado. El límite superior del índice depende del radio de la franja del perímetro, que es especificado por el usuario (200 m para los fines de este estudio).

El índice de conectividad se estimó como:

$$CONNECT = \left(\sum_{(a=b)} C_{abk} \left(\frac{n_k(n_k-1)}{2} \right) \right) / \left(\sum_{(a=b)} C_{abk} \left(\frac{n_k(n_k-1)}{2} \right) \right) (100)$$

Donde:

- C_{abk} = Conectividad entre el parche a y el parche b (1 si están conectados, 0 si no lo están) del uso del suelo k correspondiente
- n_i = Cantidad de parches del uso del suelo k en el paisaje

El índice oscila entre 0 y 100 y representa el porcentaje de conectividades funcionales de parches del mismo tipo, con relación al máximo posible de interconectividad dado el número de parches de esa clase del uso del suelo. El umbral de distancia que define una conectividad funcional es especificado por el usuario y fue fijado en 200 m.

Finalmente, el índice de cohesión se estimó como:

$$\left[1 - \left(\frac{\sum_{a=1}^n p_a \sqrt{A_a}}{\sum_{a=1}^n p_a} \right) \right] / \left(\left[(1 - 1/\sqrt{Z})^{-1} \right] \right) (100)$$

Donde:

- p_a = Perímetro del parche a (cantidad de celdas en la superficie de superficie)
- A_a = Área del parche a (cantidad de celdas en la superficie de superficie)
- Z = Cantidad total de celdas de la superficie en el paisaje

El índice oscila entre 0 y 100, donde 0 representa el uso del suelo completamente subdividido y físicamente desconectado, y aumenta a medida que el paisaje se va consolidando más.

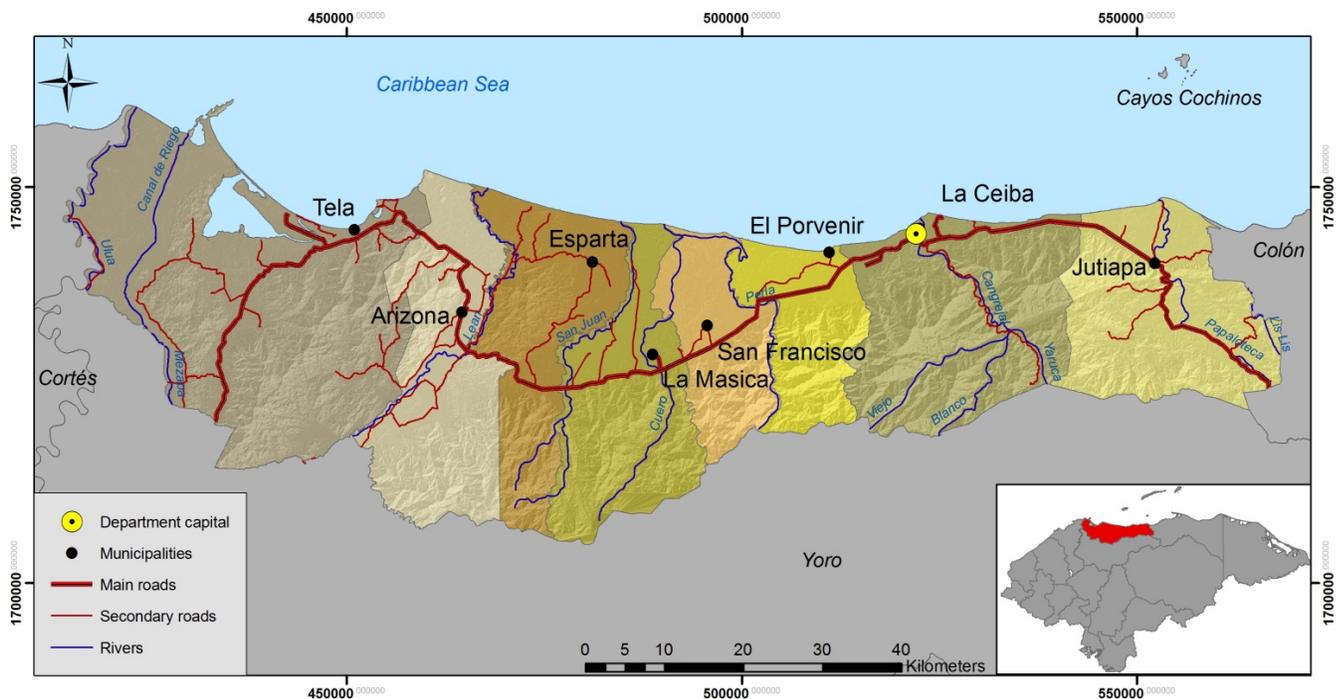
Área de estudio

El área de estudio es el Departamento de Atlántida en el norte de Honduras, que limita con el Mar Caribe. Con 344.000 habitantes, Atlántida se caracteriza por su importancia económica y ecológica a nivel nacional. Incluye parte del Corredor Biológico Mesoamericano y la ciudad de La Ceiba, la ciudad costera más grande de Honduras, que se caracteriza por su expansión desregulada (Rubio 2012). El departamento tiene tres regiones naturales contrastantes: la llanura costera, la zona montañosa y una zona intermedia de colinas (Buckles et al. 1999). El terreno plano de la llanura costera, una franja estrecha a lo largo de la costa a una altitud de menos de 100 m sobre el nivel del mar, tiene el mejor terreno agrícola de la región. Las pendientes son típicamente menores al 10 por ciento y nunca exceden del 20 por ciento en toda la zona. Es aquí donde se ha producido el crecimiento urbano, junto con el desarrollo de grandes industrias agroexportadoras, como la banana, la piña y el Palma aceitera. La zona de colinas —a menos de 600 m sobre el nivel del mar— es menos adecuada que la llanura costera para la agricultura debido a su pendiente excesiva. Sin embargo, hay una concentración de maíz y frijoles (cultivos de subsistencia) en esta zona. La zona montañosa en general no es adecuada para la agricultura y tiene pendientes muy elevadas y suelos de cultivo poco profundos y sin desarrollar. El tipo de

vegetación principal es el bosque montañoso subtropical, muy húmedo, a una altura de 800 a 1800 m sobre el nivel del mar. En las elevaciones más altas predomina aún el bosque nuboso, de difícil acceso y con pendientes muy altas.

El departamento ha sufrido cambios importantes de cobertura terrestre como consecuencia de varios procesos sociales y económicos. Las condiciones económicas son influenciadas por una larga tradición agrícola de plantación de bananos, que ha dominado el paisaje y el comercio del norte de Honduras durante las primeras décadas del siglo XX. En la década de 1960 la agricultura comercial reemplazó a las plantaciones de banano en importancia. La creciente demanda de carne vacuna en los Estados Unidos aumentó considerablemente la producción de ganado. Según el último censo agrícola de 1993, más del 50 por ciento de la tierra arable estaba compuesta por pasturas naturales y cultivadas (Baumeister y Wattel 1996; Sunderland y Rodríguez 1996). En su estudio sobre el “boom ganadero” en el norte de Honduras, Humphries (1998) analizó el rápido crecimiento de la ganadería en la región desde la década de 1950 hasta la década de 1990. Durante este período, la población de ganado en Atlántida se expandió de 27.583 a 147.233 cabezas, lo cual representa un incremento del 434 por ciento. Esta tasa de crecimiento fue posible gracias a préstamos y proyectos especiales del Banco Mundial y USAID (Sunderland y Rodríguez 1996). Al mismo tiempo, los bosques de la zona declinaron de 945.200 hectáreas en 1962 a 258.700 hectáreas en 1990, representando una disminución del 72,6 por ciento en dicho período (ibíd.).

Figura 2. Mapa de las municipalidades del departamento de Atlántida, Honduras



Debido a la disponibilidad de alternativas de empleo en las plantaciones, las condiciones climáticas favorables al agro y una infraestructura relativamente buena, la costa atlántica ha sido un destino de migración atractivo para agricultores de zonas menos favorecidas del país, lo cual influyó sobremanera en el desarrollo agrícola (Jansen et al, 2006). Como consecuencia de las

fluctuaciones en las necesidades de mano de obra en el sector de plantaciones agrícolas, junto con la migración de gran escala que se produjo en el país a partir de la década de 1970, los agricultores se vieron forzados a recurrir cada vez más a cultivos en las inclinadas colinas de Atlántida (Porch et al 2007).

En la década de 1980, para restringir el uso de algunas áreas importantes y vulnerables del departamento, el gobierno de Honduras estableció reservas y parques nacionales. En el área de Atlántida hay siete reservas terrestres y parques, con un área total de 187.800 hectáreas (el 43 por ciento del área total del suelo). Las reservas y los parques nacionales son administrados conjuntamente por organizaciones no gubernamentales locales que en general carecen de los recursos económicos necesarios para proteger dichas áreas en forma efectiva. Como en otros parques nacionales del país, la efectividad de las áreas protegidas es limitada debido a la falta de recursos económicos y respaldo institucional. En la mayor parte de las áreas protegidas se realizan actividades agrícolas y ganaderas, y también hay viviendas ilegales.

La costa norte es un área de alta presión demográfica, con un crecimiento de población a una tasa del 2,3 por ciento (UNDP 2009) y áreas cada vez más edificadas. Como consecuencia de la migración nacional, se ha producido una urbanización rápida y una aceleración del crecimiento desordenado alrededor de las dos ciudades principales, La Ceiba y Tela, y junto a la carretera que une a estas dos ciudades. La mayor parte de la urbanización se encuentra a menos de 20 km de la costa, y más del 50 por ciento de la población de Atlántida vive en esta zona.

El clima del norte de Honduras se clasifica como tropical húmedo, con temperaturas entre 25 y 28°C, con una alta precipitación anual en distribución bimodal (2000–3000 mm por año). No obstante, Honduras se encuentra en el cinturón de huracanes, y la costa del Caribe es particularmente vulnerable a huracanes y tormentas tropicales que se desplazan al interior desde el Caribe. Si bien las condiciones climáticas en el norte de Honduras son siempre húmedas, en las últimas décadas la precipitación ha variado periódicamente.

Porch et al. (2007) reportaron un aumento de 0,022°C/año en la temperatura mínima y de 0,018°C/año en la temperatura máxima en Honduras. También analizaron la precipitación pluvial anual, y si bien se encontró una tendencia decreciente, los cambios en precipitación no fueron estadísticamente significativos. El clima más cálido causará otra serie de eventos, como una mayor cantidad de olas de calor en la mayor parte del suelo, ciclones tropicales intensos más frecuentes, un mayor número de eventos de mareas altas y sequías severas (CEPAL, 2010). Según Schatan et al. (2010), los escenarios sobre los efectos del cambio climático en el norte de Honduras pronostican condiciones climáticas cada vez más extremas.

Cambios en el uso del suelo en el norte de Honduras

Categorías del uso del suelo

El mapa desagregado del uso del suelo contiene 18 categorías, y sus definiciones aparecen en la tabla 1. En el área boscosa, distinguimos las categorías de bosques latifoliados y de pinos, que incluyen todos los tipos de esta clase, como bosques secundarios, abiertos y fragmentados. Las

áreas forestales permanentemente inundadas en la costa se clasifican como manglares. Las actividades de ganadería se pueden clasificar en cría extensiva de ganado y sistemas intensivos de propósito dual. El primer sistema de caracteriza por grandes áreas naturales de pastizales, que se usan en gran medida para pastoreo, mientras que el segundo se refiere a pastizales naturales y/o artificiales con una mayor densidad de pastoreo, generalmente usados para sistemas de ganadería duales (producción de leche y carne), ubicados en las áreas más urbanizadas. En total, se establecieron ocho clases de coberturas agrícolas del suelo, incluyendo una zona de arbustos. Los hábitats de suelos con arbustos son suelos de agricultura o pastura que no se están usando por el momento, con vegetación leñosa natural o seminatural. En general estas áreas se dejan sin cultivar por 1 a 5 años para que el suelo recupere su fertilidad. La categoría de agricultura intensiva se refiere en su mayor parte a la horticultura, que incluye el cultivo de piñas, mientras que la categoría de agricultura extensiva se refiere a cultivos anuales como el maíz y los frijoles (cultivos de subsistencia) y caña de azúcar.

Tabla 1. Categorías del uso del suelo en el Departamento de Atlántida 2010

Categorías del uso del suelo	Descripción resumida	Categorías del uso del suelo	Descripción resumida
Vegetación natural		Agricultura	
Manglares	Bosques en zonas inundadas	Suelos de arbustos	Suelo con potencial agrícola pero no utilizado con este propósito.
Bosque latifoliado	Bosque primario y secundario (abierto y cerrado)	Agricultura extensa	Suelo arable utilizado para cultivos anuales (horticultura).
Bosque de pinos	Bosque de pinos secundario	Agricultura intensiva	Suelo arable utilizado para cultivos, tanto anuales como perennes (maíz, frijoles, caña de azúcar, etc.)
Cuerpos de agua	Agua superficial	Banano/Plátano	Plantaciones monocultivo intensivas
Playas		Frutales	Incluye naranjas y otros cítricos
		Piñas	Plantaciones monocultivo intensivas
		Café	Plantaciones monocultivo y para sombra
Asentamientos humanos		Palma aceitera africana	Plantaciones monocultivo
Asentamientos humanos discontinuos	Viviendas aisladas y pequeños asentamientos en zonas rurales		
Asentamientos humanos continuos	Zona urbana y pequeños pueblos	Ganadería (pasturas)	
Áreas comerciales e industriales	Área para uso de actividades comerciales y productivas	Ganadería extensiva	Pasturas naturales en áreas más aisladas, para uso en la cría de ganado.
		Ganadería intensiva	Pastura cultivada y pasturas naturales de forraje en áreas menos aisladas.

Nuestro estudio evalúa los cambios de un grupo relativamente grande de clases del uso del suelo, porque nos permite evaluar la propagación geográfica potencial de la creciente producción agrícola y ganadera, y la expansión urbana en todo el departamento. No obstante, las categorías del uso del suelo incluidas en el modelo CLUE para este estudio son menos que las que aparecen en el mapa original del uso del suelo. Ciertas categorías se tuvieron que unir, ya que el modelo no puede asignar adecuadamente categorías del uso del suelo y cambios del uso del suelo de magnitud relativamente pequeña (menos del 1 por ciento del área total de una superficie). Las plantaciones de frutas, piña y café se consolidaron en una sola categoría. Se agrupó el uso del suelo para agricultura intensiva y bananos, ya que el área de cobertura por bananos era muy pequeña para el modelo, pero la tasa de cambio era similar a la de la agricultura intensiva. Se estableció una sola categoría para playas y cuerpos de agua, cuya área permaneció constante

durante el período de modelación. Después de ejecutar el modelo CLUE, estas categorías fueron desagregadas en sus componentes originales.

La tabla 2 muestra las categorías del uso del suelo con los coeficientes de los factores integrados en el modelo de regresión del estudio, con un nivel de confianza del 95 por ciento. Para probar la robustez de la inferencia de la regresión a partir de los datos disponibles, se realizó un análisis de la curva de Característica Operativa Relativa (ROC) de las probabilidades pronosticadas. Los valores de ROC para los modelos oscilan entre 0,68 y 0,99, lo cual sugiere que los modelos son capaces de explicar la variación espacial de los patrones del uso del suelo.

Los modelos logísticos estiman la variación espacial en la ocurrencia de los distintos tipos del uso del suelo. Los resultados del modelo para todos los usos del suelo indican que las ubicaciones del suelo se determinan conjuntamente por parámetros biofísicos (elevación, pendiente y tipo de suelo), climáticos (precipitación y temperatura) y características socio-geográficas, como la distancia a las carreteras principales, ríos, zonas urbanas y densidad de población. Los modelos demuestran que los manglares que quedan son influenciados por todos estos factores, con la excepción de la densidad de población. Los manglares se encuentran en áreas bajas y llanas, donde la temperatura en general es mayor que en las otras áreas. La ubicación y distribución de bosques latifoliados depende en gran medida de los parámetros biofísicos. Se encuentran en áreas elevadas y empinadas, con suelos pobres y temperaturas más bajas. Estas áreas están alejadas de las carreteras principales y de los asentamientos humanos. Los bosques de pinos tienen características similares, pero se encuentran en áreas con elevaciones menores y temperaturas mayores.

Los resultados muestran que las actividades de agricultura y ganadería son variadas, y son influenciadas tanto por las características físicas como socio-geográficas, y particularmente por la temperatura, pendiente y condiciones del suelo. La agricultura extensiva, la producción de maíz y frijoles por agricultores a pequeña escala, está concentrada en áreas con suelos pobres y alejados de las carreteras principales y las ciudades. Las ubicaciones de la ganadería extensiva son influenciadas por todos los factores. Los resultados de la regresión indican que las actividades de ganadería extensiva son influenciadas por las condiciones naturales (pendiente y condiciones del suelo) y por las actividades humanas (distancia de los asentamientos humanos). Las actividades de agricultura intensiva, que incluyen las plantaciones de palmas, frutales y piñas, están ubicadas en las llanuras bajas, con condiciones de suelo favorables. Los resultados de la regresión confirman que cada ubicación posee características del suelo y pendientes específicas que influyen en el potencial de vegetación natural y agrícola.

Los asentamientos humanos continuos están restringidos por la pendiente, tipo de suelo y condiciones socio-geográficas. Originalmente, los asentamientos humanos se encontraban en áreas más favorables de suelo fértil y elevaciones y pendientes bajas. Los asentamientos nuevos son influenciados por todos los factores salvo la pendiente. El tipo de suelo, la distancia a las carreteras y la presión de la población tienen coeficientes negativos, lo cual implica que la presión de la población provocó la expansión de asentamientos nuevos a zonas más remotas y menos fértiles.

Tabla 2: Resultados del análisis de regresión

	Manglares	Bosque latifoliado	Bosque de pinos	Suelos de arbustos	Agricultura extensa	Agricultura intensiva/banano	Frutales/Piña/Café	Palma africana	Ganadería extensiva	Ganadería intensiva	Asentamientos humanos discontinuos	Asentamientos humanos continuos	Áreas comerciales e industriales	Cuerpos de agua/Playas
Distancia a carreteras	-0.00053		-0.002046	-0.000052	-0.000096	-0.000179	-0.000427	-0.000240		-0.001046	-0.000078	-0.000721	-0.000604	-0.000247
Distancia a ciudades principales	-0.000031	-0.000047	-0.000146	-0.000043	-0.000035	-0.000036	-0.000134	-0.000034	-0.000011		-0.000073	-0.000142	-0.000109	-0.000041
Distancia a ríos	.000323	-0.000495		-0.000266	-0.000392	-0.000477	-0.000388	-0.000385	-0.000275		-0.000317			
Elevación	-0.013711	.000399	.007545	-0.000568				-0.000756	-0.000215		-0.000607		-0.001284	-0.000729
Pendiente	.012346	-0.004662	.011473				.009079	.003177	.003662		.006475	.008802	.014842	.005349
Precipitación	.002263	.000368		-0.000799	-0.000342	-0.001516	-0.000825	-0.001056	-0.001186	-0.002026	-0.001002	-0.001738	-0.002002	-0.000764
Temperatura	2.548431	-0.027884	-0.671127	-0.191195	-0.153103		-0.453168	-0.515114	-0.211647	-0.223245	-0.178367	-0.287265	-0.541462	-0.226972
Tipo de suelo	-0.352582	.415313		.021789	.141678		-0.164085	-0.195475	.076650			-0.235422	-0.334024	-0.047801
Densidad de población		-0.000253		.000017	-0.000157		-0.000390		-0.000025		-0.000107			
Constante	-69.619151	-3.819141	6.572128	5.150401	.788105	-0.353826	11.954605	15.062477	7.097964	5.179017	4.016541	10.285466	16.850190	4.081739
ROC	.967524	.876632	.996252	.687000	.758620	.796243	.846005	.766662	.784001	.904329	.734988	.823204	.838086	.675377

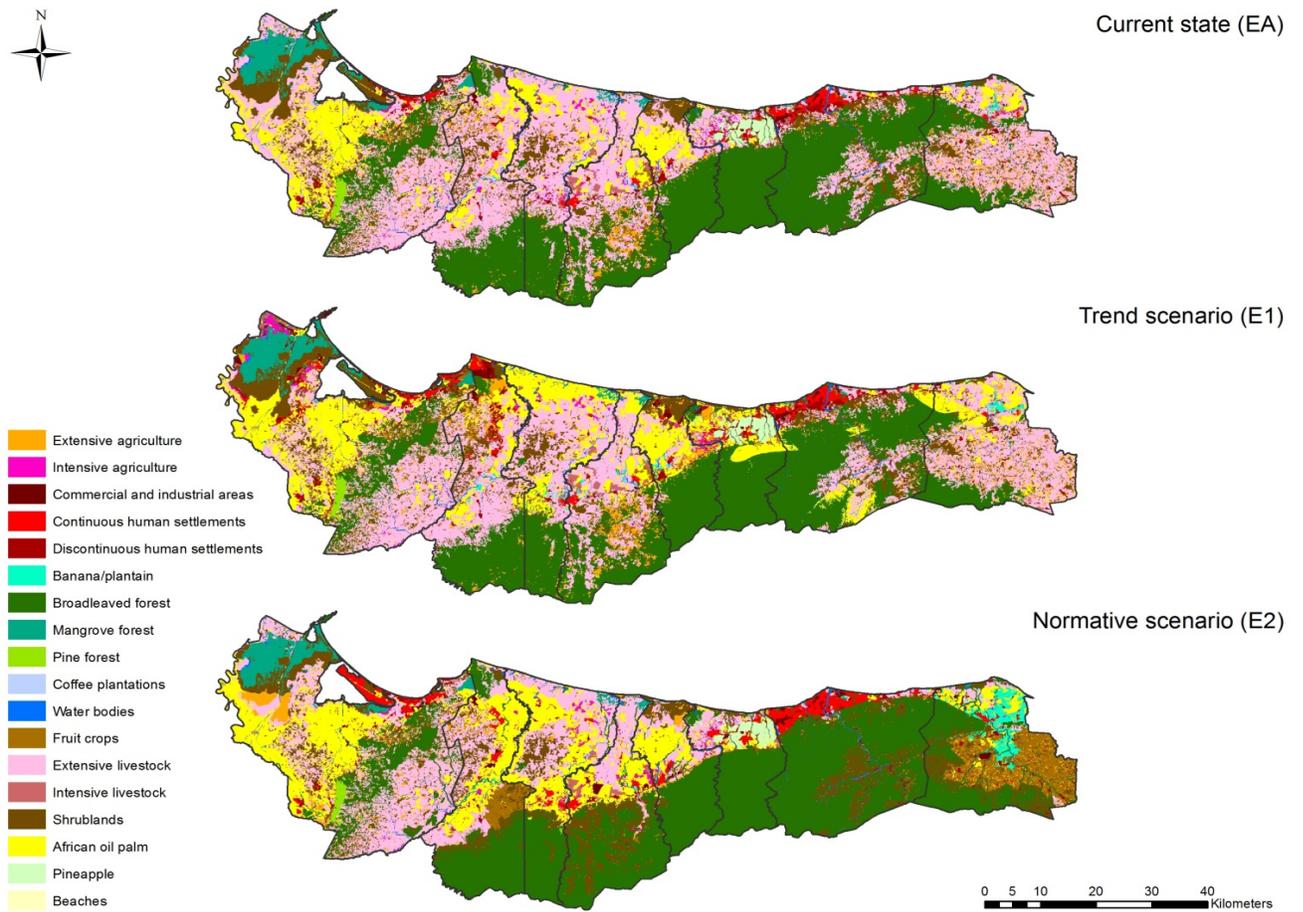
Escenarios de cambio en el uso del suelo

De acuerdo a los modelos de regresión logística, la demanda del uso del suelo y las reglas de conversión del uso del suelo, se aplicó el modelo CLUE para simular dos escenarios que expliquen las tendencias de desarrollo espacial en el período 2010–2050. El primer escenario supone que la demanda es determinada por la continuación de las tendencias actuales de cambio en el uso del suelo (escenario de tendencia), sin la implementación de políticas espaciales para la asignación de actividades agrícolas, ganaderas y de expansión urbana. El segundo escenario se basa en la misma tasa de expansión general para la agricultura, ganadería y urbanización. Sin embargo, hemos supuesto una política espacial del uso del suelo, tal como la definen el gobierno nacional y los gobiernos locales, para asegurar la protección de las áreas declaradas como protegidas y la implementación de proyectos de reforestación y urbanización planificada (escenario normativo).

En el caso del escenario de tendencia (E1), habría un descenso en las pasturas (19,4 por ciento) y los bosques (8,1 por ciento) como resultado de un aumento en las plantaciones de palma africana. El cambio de pastura a plantaciones de palma africana crearía presión sobre las otras categorías del uso del suelo, y en consecuencia sobre las áreas protegidas y/o de propiedad estatal. La pérdida de suelo cultivado en el área de La Ceiba y Tela es causada principalmente por la competencia entre el suelo cultivado y la urbanización. Este tipo de conversión de uso del suelo se relaciona indirectamente con la capacidad productiva del suelo, porque ambas ciudades están situadas en áreas más bajas y fértiles. El área urbana total, incluyendo las áreas industriales y comerciales, aumentará en un 1,6 por ciento. Se espera un aumento en las áreas hortícolas y frutales de las zonas más fértiles entre Tela y La Ceiba. Los resultados de este escenario pronostican que casi un quinto (19,2 por ciento) del uso actual del suelo cambiará para el año 2050, sobre todo en zonas con relativamente buen suelo y baja elevación.

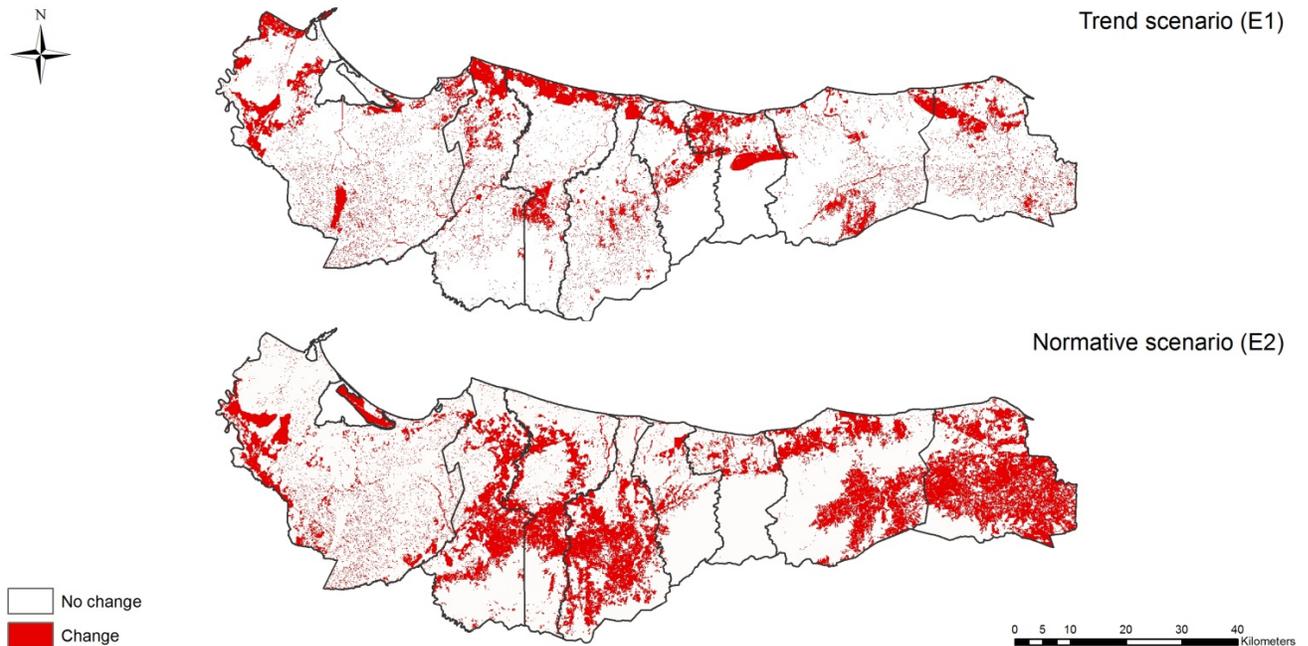
Comparado con el escenario de tendencia, el escenario E2 muestra algunas diferencias importantes. Con la implementación de planes de gestión del uso del suelo por parte de los gobiernos locales y el gobierno nacional, el bosque latifoliado en el departamento aumentaría en un 18,3 por ciento. La palma africana registraría el mismo aumento que en el escenario de tendencias, pero la expansión se haría básicamente a costa de las áreas de pastoreo. El cambio más drástico sería una reducción del 50,2 por ciento en las actividades de ganadería extensiva. Debido al aumento de la presión sobre el suelo y la imposibilidad de abrir “nuevos suelos” en las áreas protegidas, el resultado esperado sería la intensificación del uso del suelo con cultivos más redituables por hectárea. Un buen ejemplo es el caso de Jutiapa, la municipalidad más oriental, donde la ganadería extensiva perdería su importancia y sería reemplazada por plantaciones de banano y frutas cítricas, y en cierta medida por reforestación.

Figura 3: Uso observado y simulado del suelo para el escenario E1 y E2



La figura 4 muestra el mapa resultante de cada cambio en el uso del suelo entre 2010 y 2050 para cada uno de los dos escenarios. Los cambios del uso del suelo entre 2010 y 2050 demuestran que las áreas que sufren mayores cambios están ubicadas en la parte central y oriental del departamento, sobre todo en áreas con ganadería extensiva y baja elevación.

Figura 4. Cambio del uso del suelo entre 2010 y 2050; escenario de tendencia E1 y escenario normativo E2



Sensibilidad de las categorías del uso del suelo al CC

Debido a su complejidad, es difícil estimar efectos esperados del cambio climático tales como la degradación del suelo para cada patrón del uso del suelo, en términos cuantitativos. Estos efectos son frecuentemente diversos y no son siempre directos, por lo tanto son difíciles de medir. Como se mencionó en la sección de metodología, para estimar la sensibilidad del uso del suelo al cambio climático (cambio de temperatura y reducción de precipitación), se utilizó el método de juicio de expertos. Con las evaluaciones de los expertos, construimos un valor de sensibilidad para cada patrón del uso del suelo por categoría (tabla 3). Las categorías son las siguientes: cobertura de suelo natural; cobertura de suelo no natural (intervención humana); asentamientos humanos; y ganadería. En el corto plazo, los expertos no esperan un impacto significativo del cambio climático sobre la temperatura y la precipitación para cada patrón del uso del suelo. No obstante, las grandes lluvias y el aumento de oleajes de tormenta durante la última década podrían estar vinculados al cambio climático. En el largo plazo, se espera que el impacto del CC será sustancial. La amplitud del efecto del CC está relacionada con el tipo del uso del suelo.

Según los expertos, en la categoría de vegetación natural, las playas y los cuerpos de agua son los más sensibles al CC. El cambio climático, como consecuencia del aumento en el nivel del mar, de la temperatura y de las sequías, generará una erosión en la costa que tendrá la tendencia de degradar o eliminar elementos protectores naturales (por ejemplo, manglares y arena). Esto a su vez aumentará los niveles extremos del agua, y por lo tanto el riesgo de inundaciones costeras. No obstante, al igual que otras consideraciones sobre la degradación costera, es difícil separar los efectos de las fuerzas inducidas por los seres humanos de aquellas que resultan directamente del

cambio climático (Nichols et al, 2009). El efecto inmediato del CC para los cuerpos de agua en las áreas costeras es el sumergimiento y el aumento de las inundaciones, como también la intrusión de agua salada en las aguas subterráneas y la pérdida de humedales.

Muchos de los aspectos del cambio pronosticado en el clima afectarán probablemente el crecimiento forestal. Los expertos clasificaron la sensibilidad de los bosques latifoliados como alta. El aumento de la temperatura podría incrementar la duración de la temporada de cultivo. Si las condiciones en su zona geográfica actual ya no son adecuadas, hay especies que podrían estar en riesgo. En este caso en particular, algunas de las especies del Parque Nacional Pico Bonito pueden desaparecer porque no se pueden mover a una mayor altitud. Si bien muchos árboles son resistentes a cierto grado de sequía, el aumento de las temperaturas puede hacer que las sequías futuras sean más dañinas que las experimentadas en el pasado. Además, la sequía aumenta el riesgo de incendios forestales, un problema extendido en la mayoría de las áreas forestales de Honduras.

El uso no natural del suelo, sobre todo la agricultura, depende en gran medida de condiciones climáticas específicas. Es complicado tratar de comprender el efecto general del cambio climático. El aumento de la temperatura puede beneficiar a ciertos cultivos en ciertos lugares; los cultivos tienden a crecer más rápidamente en condiciones más cálidas. No obstante, para concretar estos beneficios hay que disponer de agua, suelo fértil y otras condiciones. De acuerdo a los expertos, los cultivos más vulnerables a una mayor temperatura son el café, las frutas y las hortalizas, mientras que las otras frutas y la palma africana son más sensibles a sequías. Además de los efectos generales del CC, también hay que considerar otros factores que afectan la producción agrícola, tales como las prácticas de cultivo, derechos de propiedad y acceso a tecnología.

Los expertos clasificaron las actividades ganaderas como no muy sensibles al CC. No obstante, los cambios del clima podrían afectar las actividades ganaderas tanto directa como indirectamente. Los efectos directos son el estrés provocado por el calor, que aumenta la vulnerabilidad de los animales a las enfermedades y, en el caso del ganado, el CC reduce la producción de leche durante la temporada seca. Las sequías más prolongadas e intensas que se producen debido a la temperatura más alta y la menor precipitación en la estación seca podrían reducir la cantidad de forraje disponible para el pastoreo de ganado. Al mismo tiempo, el CC puede aumentar la presencia de parásitos y enfermedades que afectan el ganado.

La sensibilidad de los asentamientos humanos y las áreas edificadas se considera de nivel intermedio, cuando se la compara con otros usos del suelo. Ambas ciudades principales, Tela y La Ceiba, están ubicadas cerca de la costa y son vulnerables a un aumento en el nivel del mar, eventos climáticos extremos e inundaciones. En años recientes, ambas ciudades han sufrido un daño sustancial en su infraestructura física —edificios, caminos, sistemas de alcantarillado y energía— lo cual a su vez ha afectado el bienestar y el sustento de sus habitantes. En ambas ciudades la población sigue creciendo en ausencia de una planificación urbana efectiva, y más del 65 por ciento de la población es pobre y vulnerable. Sus barrios están ubicados en áreas bajas, que están más expuestos a los efectos del CC. Los hogares pobres no solamente tienen ingresos bajos, sino que normalmente viven en casas de baja calidad, con poca resistencia a los desastres naturales. La situación de las actividades industriales y comerciales es menos sensible,

porque la mayoría está ubicada en áreas con menor riesgo y en general sus estructuras físicas cumplen con los códigos de edificación del país.

Las implicaciones del cambio climático para asentamientos discontinuos en el norte de Honduras involucran a asentamientos en áreas rurales. El área rural de Honduras se caracteriza por altos niveles de pobreza; el 70 por ciento de la población rural vive en la pobreza, y la gente depende de la agricultura alimentada por lluvia para sustentarse (Banco Mundial 2006). El impacto de temperaturas más altas y la sequía se puede vincular, por ejemplo, con una reducción de las fuentes de agua potable y para irrigación en pozos y manantiales, sobre todo en la parte más septentrional del departamento.

Tabla 3: Sensibilidades al MTC y MPC estimadas por categoría del uso del suelo

Sensibilidad al MTC		Sensibilidad al MPC		
Vegetación natural				
menos < Nivel de sensibilidad > más	Playas	-0,80	Playas	-0,76
	Cuerpos de agua	-0,73	Cuerpos de agua	-0,75
	Manglares	-0,58	Bosque latifoliado	-0,54
	Bosque latifoliado	-0,52	Manglares	-0,49
	Bosque de pinos	-0,49	Bosque de pinos	-0,33
	Agricultura			
	Plantaciones de café	-0,54	Agricultura extensiva	-0,54
	Suelo de arbustos	-0,54	Frutales	-0,53
	Frutales	-0,51	Palma africana	-0,52
	Agricultura intensiva	-0,50	Agricultura intensiva	-0,47
	Agricultura extensiva	-0,48	Banano/Plátano	-0,44
	Banano/Plátano	-0,45	Piñas	-0,41
	Palma africana	-0,39	Suelos de arbustos	-0,26
	Piñas	-0,32	Plantaciones de café	-0,19
	Ganadería			
	Ganadería extensiva	-0,50	Ganadería extensiva	-0,44
	Ganadería intensiva	-0,45	Ganadería intensiva	-0,43
	Asentamientos humanos y áreas construidas			
	Asentamientos humanos continuos	-0,60	Asentamientos humanos continuos	-0,54
Asentamientos humanos discontinuos	-0,54	Áreas comerciales e industriales	-0,45	
Áreas comerciales e industriales	-0,50	Asentamientos humanos discontinuos	-0,38	

Fragmentación

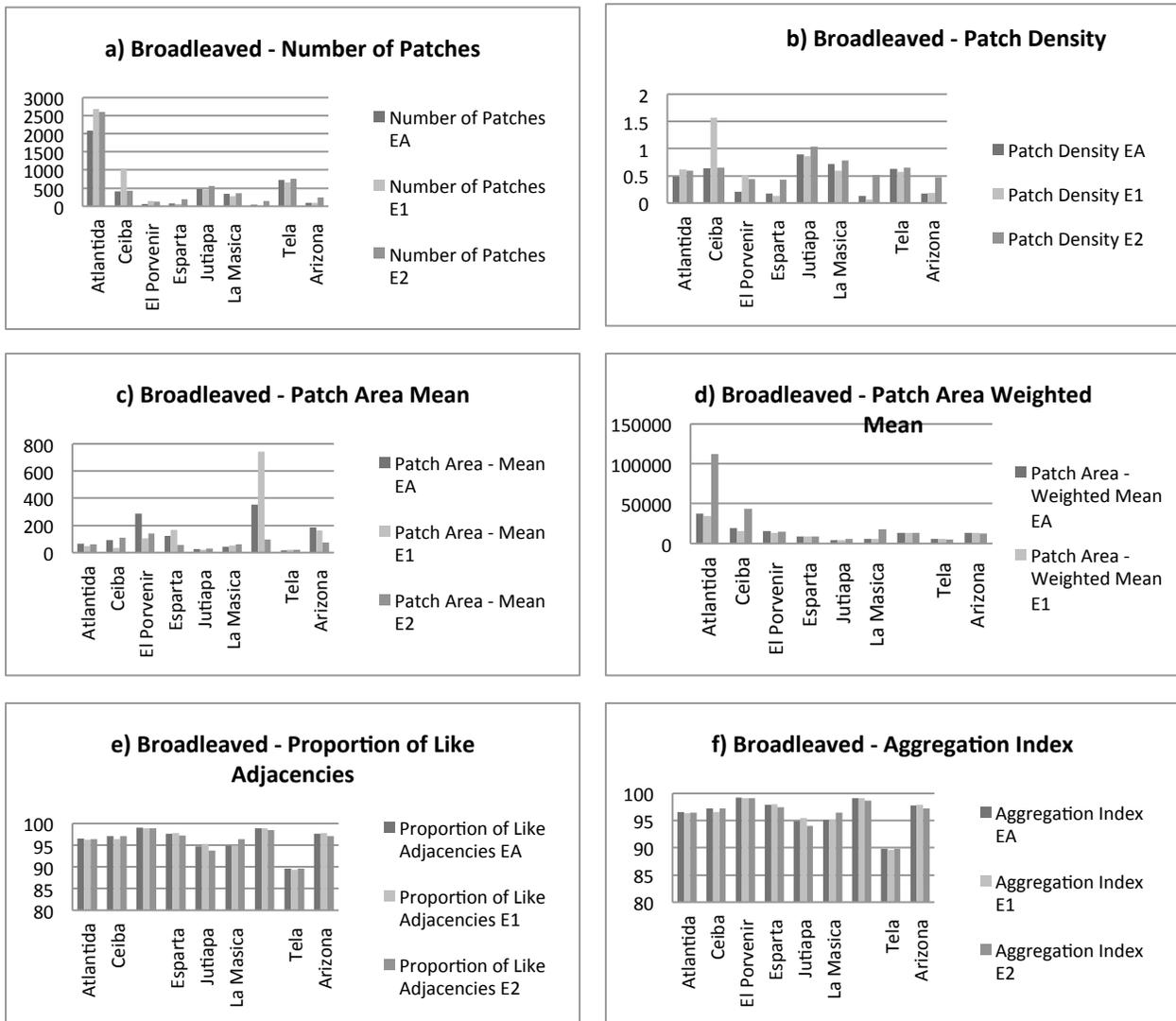
Los cambios en el uso del suelo no sólo reducen o aumentan la cobertura de suelo para una categoría específica, sino que también provocan fragmentación del hábitat, donde un parche grande de hábitat natural se divide en parches más pequeños. La fragmentación del hábitat puede aumentar el impacto del CC porque no solamente bloquea la posibilidad de que las especies se expandan geográficamente como respuesta al desplazamiento de zonas climáticas adecuadas,

sino que también reduce su capacidad para resistir el impacto del cambio climático en la región donde se encuentran. Analizamos la fragmentación del área de bosques latifoliados bajo distintos escenarios del uso del suelo. Usamos cinco índices de fragmentación: la cantidad de parches, la densidad de parches (cantidad de parches por unidad de área), el área media del parche, la proporción de adyacencias similares, y los índices de proximidad, conectividad y cohesión.

La cantidad de parches para un hábitat en particular puede afectar una variedad de procesos ecológicos; en ambos escenarios la cantidad de parches aumentará, pero el impacto es menos severo para el escenario normativo (figura 5a). La densidad del parche mide la heterogeneidad espacial. Para un tipo dado de parche, un paisaje con mayor densidad de parches se considera más fragmentado que un paisaje con una densidad de parche menor (figura 5b). A nivel regional no se encontraron diferencias, pero el escenario de tendencia pronostica un aumento en la densidad de parches para el área de La Ceiba, que indica una mayor heterogeneidad espacial en dicha municipalidad específica. Para un tipo de parche dado, un paisaje con un tamaño medio de parche menor que otro paisaje se puede considerar más fragmentado (figura 5c). En el caso de la municipalidad de San Francisco, el parche forestal tiene un tamaño medio de parche mayor que otros tipos de parches en dicha municipalidad, así que se podría considerar que el área forestal en esta municipalidad específica es menos fragmentada. Al ponderar los parches de acuerdo a su tamaño, se les da más peso a los parches más grandes que a los más pequeños para calcular el promedio de la media de parches, lo cual es útil para caracterizar la estructura del paisaje. El escenario normativo favorece la creación de áreas forestales más grandes y reducirá la fragmentación de las áreas forestales actuales (figura 5d).

La proporción de adyacencias similares es el porcentaje de celdas adyacentes en un tipo de parche dado que sean del mismo tipo que el parche adyacente. Un aumento en el porcentaje de adyacencias similares implica una mayor consolidación de este tipo de parche (figura 5e). Los resultados para ambos escenarios indican que los cambios esperados serán pequeños. La municipalidad con el índice más bajo es Tela, lo cual implica una agregación más pequeña en las áreas forestales. El índice de agregación está relacionado en forma directa con el índice de fragmentación, y se espera que disminuya cuando la cantidad de parches aumenta. Esto se debe a que el aumento de una clase del uso del suelo en un cierto paisaje, en este caso específico los bosques, aumenta la probabilidad de formar parches más grandes (más agregados) y el índice de agregación disminuye si el tamaño del parche permanece igual. Los resultados fueron los esperados: Tela tiene el menor nivel de agregación y tiene el hábitat forestal más fragmentado (figura 6f). Más aún, el índice de agregación del bosque latifoliado en el escenario E2 aumenta lentamente en La Masica y La Ceiba, pero disminuye en otras municipalidades.

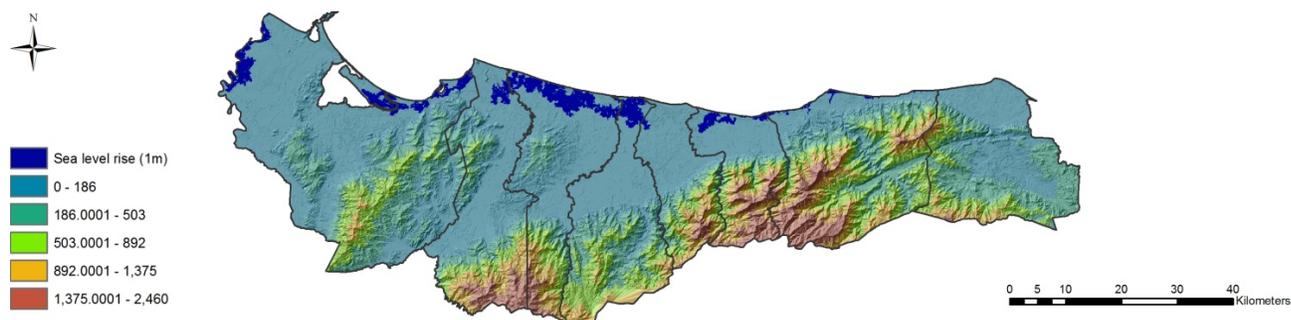
Figura 5: Métricas de paisaje para parches de cambio en el uso del suelo (a) cantidad de parches, (b) densidad de parches, (c) área media de parche, (d) media ponderada del área de parche, (e) proporción de adyacencias similares, (f) índice de agregación



Aumento en el nivel del mar

Las municipalidades más sensibles a un aumento del nivel del mar de 1 metro se muestran en la figura 6. De acuerdo al mapa de elevación, se estima que se inundarán 11.608 hectáreas, o el 2,6 por ciento del departamento, para el año 2050. Estas inundaciones ocurrirían en su mayoría en pueblos de las municipalidades de Esparta, La Masica y Tela. Dichas municipalidades tienen muchas zonas bajas, resultando en una mayor proporción de áreas inundadas con el aumento del nivel del mar.

Figura 6: Elevación digital y modelo de aumento del nivel del mar en el Departamento de Atlántida, 2050



La máxima elevación obtenida del DEM corresponde a 2.460 metros sobre el nivel del mar. La proporción del departamento ubicada entre 0 y 20 metros sobre el nivel del mar se estimó en 26 por ciento. Esta superficie es ocupada en su mayoría por usos productivos del suelo y asentamientos humanos.

Las municipalidades de Esparta y La Masica no están densamente pobladas, y su suelo es utilizado en su gran mayoría para la agricultura, especialmente el cultivo de palma africana, lo cual sugiere que existe una necesidad urgente de prevenir y manejar la inundación en campos agrícolas de esta área. Las ciudades de La Ceiba y Tela también se ven afectadas por el aumento en el nivel del mar; el área afectada en dichas municipalidades era alrededor del 25 por ciento del área inundada total. En resumen, se observó una sensibilidad más alta al aumento del nivel del mar en las zonas bajas, donde el uso del suelo es dominado por el cultivo de palma africana, y la densidad de población es relativamente baja.

Sensibilidad al cambio climático

Presentamos dos tipos de mapas para analizar el impacto del CC para cada cobertura del uso del suelo. La figura 7 presenta el estado actual y los resultados para ambos escenarios, de acuerdo a la cobertura del uso del suelo y los cambios en dicho uso a nivel de parche para los escenarios analizados. En la figura 8 calculamos un promedio ponderado para todas las categorías del uso del suelo a nivel de aldea. Las aldeas con cobertura más sensible del uso del suelo presentarán una mayor sensibilidad al cambio climático. En ambas figuras, el aumento del nivel del mar se presenta como una variable independiente, sin vincularla con las variables de CC de temperatura y precipitación.

La figura 6a muestra que, bajo la situación actual, el 60 por ciento de toda la cobertura del uso del suelo se considera altamente sensible al CC. El área más sensible se encuentra en la parte oeste del departamento, dominada por actividades de ganadería y agricultura extensivas. En promedio, los pueblos de la municipalidad de Esparta son los más sensibles al CC, incluyendo a inundaciones.

Para el escenario E1, donde “se dejan las cosas como están”, supusimos que el cambio del uso del suelo continuaría como en el pasado. Durante el período 2010–2050, estimamos que el 18,9 por ciento del uso del suelo total experimenta algún cambio. Según la figura 6b, este cambio

ocurrirá en la costa del mar y en áreas de las municipalidades de Jutiapa, Tela y El Porvenir. Los cambios esperados para el año 2050 son principalmente una expansión adicional de la palma africana, reemplazando las pasturas y otros cultivos agrícolas. El impacto total del cambio del uso del suelo sobre la sensibilidad al cambio climático a nivel de municipalidad depende de si la cobertura de suelo reemplazada era más o menos sensible al CC que la cobertura de suelo nueva. Según nuestro análisis, casi el 80 por ciento del cambio de cobertura del suelo para el año 2050 consiste en la conversión a cultivo de palma africana. Como se puede ver en la figura 7b, las municipalidades donde se expandirá la palma africana serán menos sensibles al CC en 2050 que en 2010, porque la palma africana no es muy sensible al aumento de temperatura y es relativamente resistente a la sequía.

El escenario normativo, figuras 7c y 8c, presenta un pronóstico más optimista. Los planes del uso del suelo desarrollados por los gobiernos nacional y locales controlarían la expansión de las actividades agrícolas en las áreas protegidas ubicadas en las partes más elevadas del departamento. El cambio total de cobertura de uso del suelo será del 38 por ciento para el año 2050. Las áreas naturales, especialmente los bosques latifoliados, se expandirán un 18 por ciento. El modelo pronostica una reducción significativa en las actividades de ganadería y agricultura extensivas (52 por ciento y 25 por ciento, respectivamente). La palma africana crecerá a la misma tasa (15,7 por ciento) que en el escenario de tendencia, pero el impacto del remplazamiento (presión sobre las actividades agrícolas reemplazadas hacia las áreas protegidas) será limitado.

Figura 7: Sensibilidad al cambio climático a nivel de cobertura del suelo: (a) estado actual; (b) escenario de tendencia; (c) escenario normative

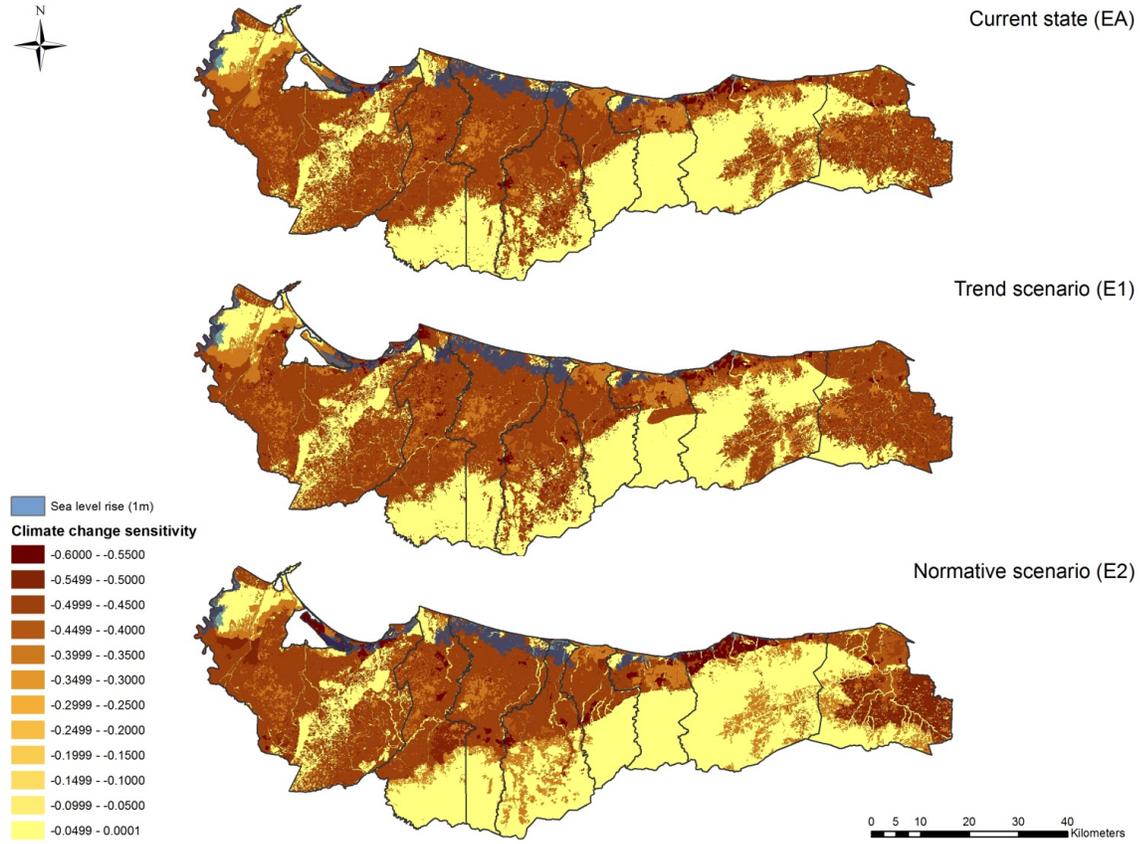
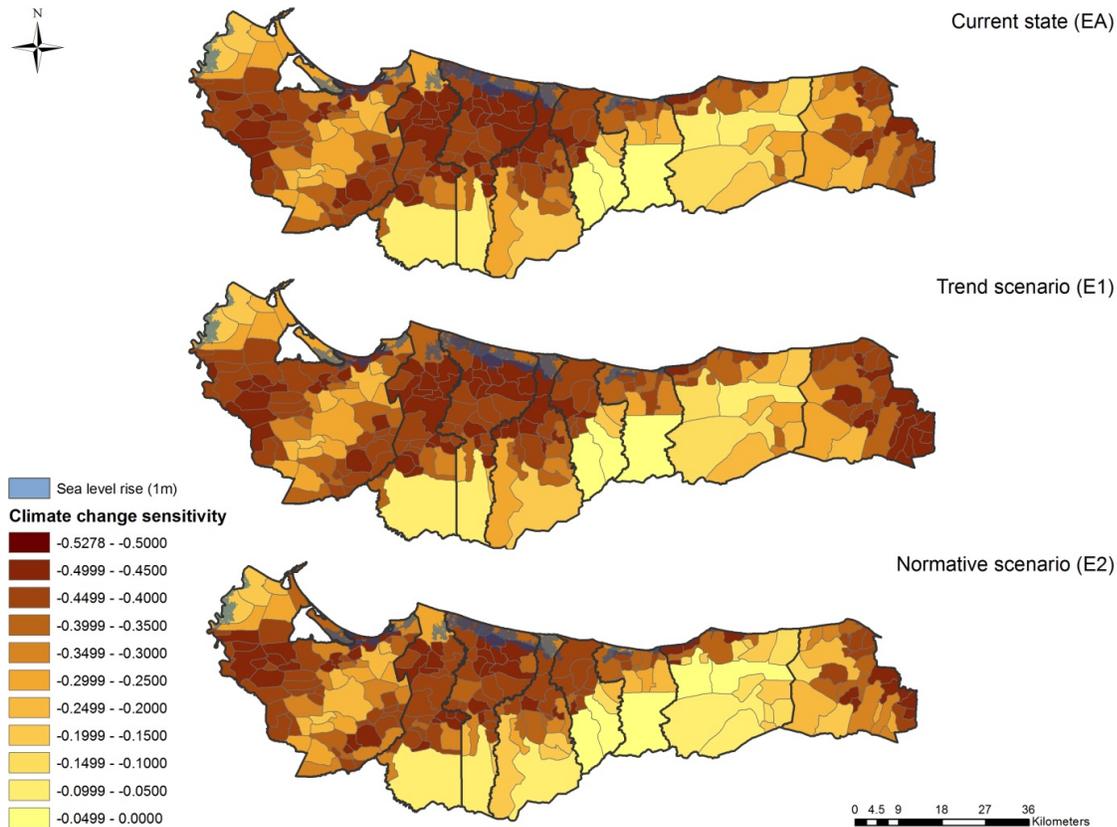


Figura 8: Sensibilidad al cambio climático a nivel de aldea: (a) estado actual; (b) escenario de tendencia; (c) escenario normativo



Discusión

Al combinar los patrones del uso del suelo con la sensibilidad al cambio climático para cada cobertura de uso del suelo, es posible analizar la sensibilidad del Departamento de Atlántida al cambio climático en los próximos 40 años. En este contexto, los cambios climáticos importantes incluyen un cambio en la extensión de la temporada de cultivo, lo cual está relacionado tanto con la precipitación pluvial como con la temperatura, y es un factor determinante de la productividad agrícola. Una serie de modelos climáticos concuerdan en pronosticar que en gran parte de Honduras la temporada de cultivo se reducirá entre un 5 y 15 por ciento para el año 2050, con efectos particularmente negativos en las áreas más secas del sur de Honduras (IPCC 2007). En los últimos 30 años, Honduras ya ha experimentado un aumento gradual tanto en las temperaturas medias máximas como en las temperaturas medias mínimas. Si bien la temperatura promedio muestra una tendencia creciente, los datos son altamente variables (Argeñal 2010). En el caso de los patrones de precipitación, se espera más variación y una reducción de la media de precipitación pluvial anual; esto tendrá un impacto significativo sobre el rendimiento de las cosechas. Las investigaciones de Porch et al (2007) encontraron que las temporadas de cultivo más cortas y las temperaturas más altas restringen significativamente la producción de frijoles en el departamento.

Los resultados de nuestros modelos logísticos para todas las categorías del uso del suelo indican que la ubicación y expansión de las actividades de agricultura y ganadería, y de la urbanización, están determinadas por parámetros biofísicos (altitud, pendiente y tipo de suelo), características demográficas, como distancia a las carreteras, ciudades y ríos principales, y densidad de población y variables climáticas (precipitación y temperatura). Dichos factores críticos han determinado la cobertura del uso del suelo y son los factores principales que caracterizarán el uso del suelo en el futuro.

Se aplicó la metodología CLUE para asociar la demanda del uso del suelo y las posibles tendencias para simular los escenarios del uso del suelo para el período 2010–2050. Como se puede observar, el cambio del uso del suelo está vinculado en forma directa con las variables biofísicas, climáticas y demográficas (escenario E1), pero puede ser alterado por medidas políticas efectivas para proteger áreas específicas (escenario E2). Los resultados de la simulación indicaron que los cambios en el uso del suelo para el escenario E1 ocurren más frecuentemente en la costa y en áreas de elevaciones bajas. Los cambios más significativos se encontraron en el escenario E2; el efecto de reemplazar la ganadería extensiva con la palma africana fue menos dañino para las áreas protegidas. Sin embargo, es plausible esperar que se reemplazarán áreas forestales naturales con pasturas en otras áreas con menos control que las áreas protegidas (departamentos de Cortés y Gracias a Dios). La reducción de las áreas naturales hará que la región sea más vulnerable al cambio climático. Sin embargo, el reemplazo de distintos tipos de cultivos y actividades de ganadería con la palma africana hará que la región sea menos vulnerable al cambio climático.

El uso de métricas de paisaje permitió evaluar y comparar las condiciones previas y posteriores para un tipo de paisaje en particular, en nuestro caso el área forestal. A nivel de paisaje, el escenario E1 crearía un área forestal más fragmentada durante el período de simulación que el escenario E2. La fragmentación no sólo reduciría el umbral crítico para la supervivencia de especies sino que también afectaría la capacidad del bosque para recuperarse de disturbios severos y para mantener la tasa de provisión de bienes y servicios a la región (Thompson et al 2009). Para reducir esta fragmentación adicional del área forestal, las políticas de conservación podrían tener un impacto importante sobre los patrones de parches en el área forestal, haciéndola menos vulnerable al CC.

La proyección de un aumento de un metro en el nivel del mar podría aumentar las inundaciones, sobre todo en zonas bajas cerca de la costa. El aumento en el nivel del mar probablemente aumentará la vulnerabilidad biofísica y demográfica de la zona. No obstante, en esta área esperamos un crecimiento acelerado de la población y una mayor expansión de las ciudades principales de la región: Tela y La Ceiba. En años recientes, las inundaciones han afectado especialmente a las poblaciones más pobres, porque están concentradas en las zonas más peligrosas.

La combinación de inundaciones con una reducción en las lluvias podría aumentar la penetración interior de agua salada, afectando la calidad y disponibilidad de agua dulce. Además, podría afectar los humedales y las lagunas naturales (Laguna de los Micos y Cuero y Salado); estas áreas están protegidas por playas de barrera de poca altura, y el aumento del nivel del mar podría inducir un desbordamiento y afectar los ecosistemas cercanos. Las plantaciones de palma

africana y otras actividades agrícolas podrían correr el riesgo de inundaciones y salinización del suelo. En general, los resultados remarcan la vulnerabilidad biofísica y demográfica de los asentamientos y las actividades agrícolas ubicadas en las zonas muy bajas cerca de la costa.

Sin una planificación activa del uso del suelo en los años venideros, las crecientes presiones de desarrollo debido a una población creciente y las actividades de una agricultura en expansión podrían afectar la capacidad de los ecosistemas para adaptarse a los cambios climáticos, haciendo que la región sea más vulnerable. La esencia del análisis del uso del suelo es demostrar a los tomadores de decisiones cómo los cambios posibles de cobertura de uso del suelo podrían impactar el uso futuro del suelo. Los planes del uso del suelo actuales de los gobiernos locales y el gobierno nacional jugarán un papel decisivo en determinar el uso del suelo más apropiado por los próximos 40 años. Es importante encontrar un equilibrio entre la conservación de áreas cruciales y el desarrollo económico y agrícola. Si bien la tendencia a la expansión de la palma africana seguirá, es importante limitar expansiones agrícolas en las áreas protegidas. La reforestación y adopción de proyectos REDD podrían ser medidas importantes para proteger la región contra el cambio climático.

Conclusiones

La zona costera del norte de Honduras tiene una alta exposición a los impactos potenciales del cambio climático. En particular, la región es vulnerable al aumento en el nivel del mar y a cambios de temperatura y precipitación. Los efectos potenciales del CC, que pueden tener implicaciones socioeconómicas importantes para la población, y su relación con el cambio de cobertura del uso del suelo, constituyen fenómenos complejos. Los cambios en el uso del suelo debido a actividades como la agricultura, el crecimiento urbano desordenado y la infraestructura de transporte, se reconocen generalmente en la literatura como causas importantes de un aumento de vulnerabilidad ante el cambio climático. Es importante evaluar la sensibilidad del uso del suelo porque permite identificar áreas que corren riesgo y la amenaza causada por una reducción o pérdida de recursos que podría afectar el desarrollo sostenible futuro en la región (Berry et al. 2006).

El propósito de este estudio fue analizar las variaciones de sensibilidad derivadas de diferencias espaciales y temporales en el uso del suelo y sus implicaciones para la política del uso del suelo como herramienta de adaptación al cambio climático en la gestión integrada de las zonas costeras. En el caso del norte de Honduras, la expansión agrícola es la causa directa más importante del cambio en el uso del suelo, seguido por la deforestación y el desarrollo de infraestructura. Una demanda de exportación creciente de palma africana, y un aumento en la cantidad de agricultores de subsistencia en las colinas han sido los impulsores principales de la conversión de áreas naturales (ya sea directa o indirectamente) en suelos para uso en agricultura y ganadería extensiva. El cambio total de cobertura del suelo en los próximos 40 años será de alrededor del 18,9 por ciento del área total. Dichos cambios en la cobertura del suelo no sólo afectarán el paisaje biofísico, sino que también tendrán influencia sobre la estructura agraria: más suelo quedará concentrado en menos manos.

De acuerdo a los expertos, algunos patrones del uso del suelo son más sensibles al cambio climático que otros. Específicamente, las áreas de playa, los cuerpos de agua y los bosques latifoliados se consideran altamente vulnerables a mayores temperaturas y sequías. En general, los cultivos son vulnerables al CC, lo cual se combinará probablemente para reducir el rendimiento y aumentar los riesgos de producción en la región. No obstante, los factores económicos que están causando los cambios actuales en el uso del suelo, de agricultura y ganadería a principalmente producción de palma africana, parecen mitigar en forma efectiva el cambio climático. La palma africana es menos sensible al CC que otros cultivos y se adapta relativamente bien en la región. El principal problema de la expansión de la palma africana es la presión sobre otros cultivos y áreas naturales. Si bien la palma africana es menos sensible al CC, no encontramos un vínculo directo entre la expansión del cultivo de la palma africana y la deforestación; la producción de palma africana lleva indirectamente a la conversión de áreas naturales en cultivos o pasturas, debido al aumento de presión sobre el suelo que se encuentra en las zonas más bajas.

Estos resultados tienen implicaciones importantes para las políticas futuras del uso del suelo. Por ejemplo, la conversión futura de cultivos a otros tipos de suelo podría aumentar la sensibilidad (particularmente a través de urbanización y deforestación), mientras que la expansión futura de suelos de cultivo también podría llevar a una mejor adaptación al CC, particularmente por medio de la expansión de cultivos menos sensibles, como la palma africana, a áreas marginales. No obstante, la creciente presión sobre el suelo causada por la producción de palma africana tiene un impacto potencial negativo sobre las áreas naturales, causando deforestación y haciendo que toda la región sea más vulnerable al cambio climático en los próximos 40 años. Los gobiernos locales y el gobierno nacional tienen un papel decisivo para asegurar la implementación de sus políticas del uso del suelo, con el objeto de proteger a la región contra el impacto del cambio climático.

Referencias

- ACERA. 2007. Eliciting Expert Judgments: Literature Review. Retrieved April 7, 2012, from <http://www.acera.unimelb.edu.au/materials/endorsed/0611.pdf>
- ACERA. 2008. Eliciting reliable expert judgments for ecological models. Retrieved April 7, 2012, from http://www.acera.unimelb.edu.au/materials/endorsed/0611_Spiers-Bridge.pdf
- ACERA. 2010. Elicitation Tool—Process Manual. Retrieved April 7, 2012, from <http://www.acera.unimelb.edu.au/materials/endorsed/0611-process-manual.pdf>
- Argeñal, F.J. 2010. *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras*. SERNA and UNDP. Tegucigalpa, Honduras. 85 pp.
- Baumeister, E. and C. Wattel. 1996. *El Agro Hondureño y su Futuro*. CDR-ULA. San José, Costa Rica.
- Berry P.M. Berry, M.D.A. Rounsevell, P.A. Harrison and, E. Audsley (2006). “Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation”. *Environmental Science & Policy*. Vol. 9. pp. 189–204.
- COPECO (Permanent Contingency Commission). 2010. *Proyecto Mitigación y Desastres Naturales 2010*. Plan Municipal de Gestión de Riesgos, Municipio de la Ceibal, Atlántida. 69 pp.
- CEPAL. 2010. *Efectos del cambio climático en la Costa de América Latina y el Caribe Dinámicas: Tendencias y Variabilidad Climática*. United Nations - CEPAL. Santiago de Chile.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2011. *Expert Elicitation Task Force White Paper*. Retrieved April 8, 2012 from: <http://www.epa.gov/stpc/pdfs/ee-white-paper-final.pdf>
- Humphries, S. 1998. Milk Cows, Migrants, and Land Markets: Unraveling the Complexities of Forest-to-Pasture Conversion in Northern Honduras. *Economic Development and Cultural Change*. 47 (1): 95–124
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1995. In Houghton, J. *et al.* *Climate change 1995: the science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Fourth Assessment Report 2007: Climate Change: Impact, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Report Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 67 pp.
- Jansen, H., J. Pender. A. Damon. R. Schipper. 2006. *Land Use in the Hillside Areas of Honduras. A Quantitative Livelihoods Approach*. IFPRI. Washington DC.
- Keeney et al, (1991) *Use of expert judgment in NUREG-1150*, Nuclear Engineering and Design, Vol. 126, pp. 313–331, North-Holland, 1991.
- Klein, R.J.T. *et al.*, 1999. Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. *Springer on behalf of Royal Swedish Academy of Sciences*. Vol. 28, No. 2. 7 pp.
- Lannoy. A., Procaccia. A. (2001). *L'utilisation du jugement d'experts en sûreté de fonctionnement*, Editions TEC & DOC, December, 2001.

- Martin, T. G., Burgman, M. A., Fidler, F., Kuhnert, P. M., Low-Choy, S., McBride, M. And Mengersen, K. (2012), Eliciting Expert Knowledge in Conservation Science. *Conservation Biology*, 26: 29–38. doi: 10.1111/j.1523-1739.2011.01806.x.
- McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- MIRA-USAID (Environmental Resource Integrated Management Programme. 2005. Efectos del Cambio Climático en el desarrollo costero de La Ceiba. Retrieved Jan 27, 2012. www.cambioclimaticohn.org
- Nicholls, R., C. Woodroffe and V. Burket. 2009. “Coastline Degradation as an Indicator of Global Change”. In: T. Letcher (ed.) *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*. Elsevier Science.
- Porch, T., R. R. Bernsten, JC Rosas and M. Jahn. 2007. Climate change and the potential economic benefits of heat-tolerant bean varieties for farmers in Atlántida, Honduras. *Journal of Agriculture. Univ. P.R.* 91(3–4): 133–148.
- PROCORREDOR. (2012). *Elaboración de planes de desarrollo y ordenamiento territorial para la Subregión IV Valle de Lean. Propuesta de Desarrollo Regional*. La Ceiba.
- Ritchey, F.J. (2002) *Estadística para las Ciencias Sociales. El potencial de la imaginación estadística*. (E.R. Cosío Martínez). México: McGrawHill. (Original work published 1999).
- Rubio, D. 2012. *Evolución del crecimiento urbano del departamento de Atlántida, Honduras*. INYPSA, Honduras.
- Schatan, C. M. Montiel and I, Romero. 2010. *Cambio climático y retos para el sector turismo de Centroamérica*. Naciones Unidas - CEPAL. México.
- SERNA (Ministry of Natural Resources and the Environment). 2006a. *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático y Plan de Acción para la Cuenca del Río Aguan en Honduras*. SERNA. Tegucigalpa. Honduras.
- SERNA (Ministry of Natural Resources and the Environment). 2006b. *Vulnerabilidad Actual de la Cuenca del Río Aguan en Honduras*. SERNA. Tegucigalpa, Honduras. 36 pp.
- SERNA (Ministry of Natural Resources and the Environment). 2007. *Vulnerabilidad de Honduras ante los efectos del Cambio Climático*. SERNA- Dirección de Cambio Climático. Tegucigalpa.
- SERNA (Natural Resources and the Environment). 2010. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. SERNA- Dirección de Cambio Climático. Tegucigalpa, Honduras. 46 pp.
- Sunderland, W. and J.A. Rodríguez. 1996. *Cattle, Broadleaf Forests and the Agricultural Modernization Law of Honduras The Case of Olancho*. CIFOR. Indonesia.
- Thompson, I., B. Mackey, S. McNulty, and A. Mosseler. 2009. *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 pages.

- UNDP (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2009. *Informe sobre Desarrollo Humano. Honduras: De la exclusión social a la ciudadanía juvenil*. PNUD. Tegucigalpa, Honduras.
- Verburg, P.H., Koning, G.H.J. de, Kok, K., Veldkamp, A. & Bourma, J. (1999). “A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use”. *Ecological Modeling*. Vol. 116. Pp 45–61.
- Verburg, P.H. *et al.* 2002. “Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model”. *Environmental Management*, 30 (3): 391 405.
- World Bank (2006) *Honduras Poverty Assessment: Attaining Poverty Reduction*. Vol. 1 and 2. World Bank. Washington DC.