

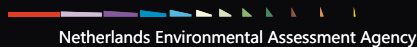
**MODELACIÓN**

**DEL ESTADO ACTUAL**

**Y FUTURO DE LA**

**BIODIVERSIDAD**

Manual basado en la metodología de  
W. Van Rooij y P. H. Verburg





PROYECTO  
MODELACIÓN DE  
BIODIVERSIDAD  
EN CENTRO AMERICA



**MODELACIÓN**

**DEL ESTADO ACTUAL**

**Y FUTURO DE LA**

**BIODIVERSIDAD**

Manual basado en la metodología de  
W. Van Rooij y P. H. Verburg

Adaptación: Denisse McLean  
Coordinación del Proyecto: Suyapa Triminio Meyer

333.95 Carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano  
C31 Metodología GLOBIO y CLUE-S. Modelación del estado actual y futuro  
C. H. de la Biodiversidad. Manual basado en la metodología de W. Van Rooij y  
P.H. Verburg / Carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano--  
[Tegucigalpa]: [Editora Demal], [2010]  
103 p.: ill. Fotos

ISBN: 978-99926-790-1-2

1.- MEDIO AMBIENTE. 2.- BIODIVERSIDAD. 3.- MODELACIÓN DE BIODIVERSIDAD



Escuela Agrícola Panamericana, Carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Valle del Yeguaré, kilómetro 35, carretera a Danlí, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. Apartado Postal 93, Tegucigalpa, Honduras. Contacto Arie Sanders: [sanders@zamorano.edu](mailto:sanders@zamorano.edu).

Primera edición, 2010

Metodología GLOBIO y CLUE-S. Modelación del estado actual y futuro de la biodiversidad.  
Copyright © 2010 por Carrera DSEA, Zamorano  
Todos los derechos reservados.

Director DSEA: Arie Sanders, Jefe de Carrera DSEA  
Coordinación: Suyapa Triminio Meyer, coordinadora de PROMEBIO, [smeyer@zamorano.edu](mailto:smeyer@zamorano.edu).  
Adaptación: Denisse Mclean, [mclean.denisse@gmail.com](mailto:mclean.denisse@gmail.com)

Edición y diseño: Demal, S. de R. L. de C. V.

Publicación realizada bajo la coordinación del Instituto Regional de Biodiversidad (IRBIO), de Centroamérica y el Programa de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad (PROMEBIO), órgano y programa estratégico de la Comisión Centroamericana de Desarrollo y Ambiente del Sistema de Integración Centroamericana.

Asistencia técnica y financiera: Agencia Holandesa para el Ambiente (Netherlands Environmental Assessment Agency/Bilthoven, Planbureau voor de Leefomgeving PBL). Contactos: Tonnie Tekelemburg, [tonnie.tekelemburg@pbl.nl](mailto:tonnie.tekelemburg@pbl.nl) y Wilbert van Rooij, [vanrooij@aidenvironment.org](mailto:vanrooij@aidenvironment.org)

Asistencia financiera: Secretaría de la Convención de Diversidad Biológica. Contacto: Robert Hoft, Environmental Affairs Officer, 413, St. Jacques St W, Suite 800, Montreal, QC. CANADA H2Y 1N9, [robert.hoft@cbd.int](mailto:robert.hoft@cbd.int).

Especial agradecimiento a Denisse Mclean por la traducción y adaptación de este material, a un manual que será una herramienta de mucho valor para la capacitación de modeladores de la biodiversidad de habla español.

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos u otros no comerciales, siempre y cuando se cite este documento como fuente.

**PORTADA:** resultado de la modelación de la biodiversidad en Centroamérica, 2000-2008 (EAP 2010).

**CONTRAPORTADA:** flores nacionales de los países de Centroamérica (sitios web de acceso libre).

## Tabla de Contenidos

Introducción	5
Consideraciones preliminares	6
GLOBIO Conceptos	7
Impacto por cobertura/uso de suelo	8
Impacto por infraestructura	9
Impacto por fragmentación	11
Impacto por deposición de Nitrógeno	12
Impacto por Cambio Climático	14
Impacto total en el MSA	15
Resultados e interpretación	16
GLOBIO Tutorial	17
Datos de insumo	17
Contenido de la carpeta	18
Preparación	19
Cálculo de los impactos por presiones	20
CLUE Conceptos	53
Determinantes de los usos de suelo futuros	54
Procedimiento de distribución	59
Resultados e interpretación Implicaciones en la modelación de biodiversidad	61
CLUE Tutorial	63
Contenido de la carpeta	63
Preparación de los factores de presión	64
Ejercicio 1: Introducción a la interfase del usuario y la simulación	67
Ejercicio 2: Simulación de diferentes escenarios	79
Ejercicio 3: Realización del análisis de regresión	84
Ejercicio 4: Modificación de los parámetros principales	91
Integración de los Modelos	95
Bibliografía	97
Anexos	99
Anexo I: Glosario	99
Anexo II: Asignación de valores MSA al mapa original de usos de suelo	101



## INTRODUCCIÓN

Se entiende por biodiversidad “la variedad de formas de vida (especies, ecosistemas y genes) existente en la Tierra y los patrones naturales que forma” (CBD, 2007). Por los bienes y servicios que presta -alimentos, materias primas, medicinas, formas de energía, recreación, funciones de balance de sistemas- la biodiversidad es de vital importancia para el desarrollo de los seres humanos y el sostenimiento de la vida, tal como la conocemos.

La biodiversidad se ha visto amenazada y deteriorada por una serie de intervenciones humanas, tales como los cambios en el uso del suelo, la colonización de zonas vírgenes, la fragmentación de hábitats y el cambio climático generado por las emisiones atmosféricas. Sin embargo, debido al reconocimiento cada vez mayor de su importancia vital, la conservación de la biodiversidad se ha convertido en una de las metas de la comunidad internacional, tanto así que en abril de 2002, los miembros de la Convención de Diversidad Biológica (CDB) se comprometieron a “alcanzar para el 2010 una reducción significativa en las tasas de pérdida de biodiversidad a nivel global, regional y nacional, como una contribución al alivio de la pobreza y para beneficio de toda la vida en la Tierra” (CBD, 2007).

Para alcanzar esta meta es preciso monitorear permanentemente las tendencias de indicadores que reflejen el estado de la biodiversidad. Por un lado, se necesita monitorear el estado de la abundancia, ocurrencia y distribución de especies y ecosistemas claves; por otro, también se necesita de indicadores generales del estado de la biodiversidad en amplias unidades administrativas, es decir en los países. Entre los indicadores generales existen algunos que estiman el estado de la biodiversidad comparándola con la situación original a partir de impactos antropogénicos.

Uno de los indicadores más aplicados en el mundo para la escala nacional es el de Abundancia Media de Especies. Alkemade (2009) define la Abundancia Media de Especies (en inglés: *Mean Species Abundance* [MSA]) como el porcentaje remanente de especies respecto al total que existió en una unidad de área cuando ésta se encontraba en su estado primario o prístino, que se asume no ha sido perturbado por actividad humana por un período de tiempo prolongado. La modelación del estado actual y futuro de la biodiversidad en términos del MSA es una herramienta adecuada para los tomadores de decisiones debido a la transparencia de su cálculo, la facilidad de su replicación y, sobre todo, el atractivo que posee para la presentación de resultados.

El Proyecto de Modelación de Biodiversidad, en el marco del Programa Estratégico Regional de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad (PROMEBIO), de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), tiene como objetivo “fortalecer las capacidades de la región para generar y manejar información de importancia estratégica sobre el estado de la biodiversidad” (CCAD, 2005). En el marco de este objetivo se ha diseñado el presente manual como una herramienta de aprendizaje para los interesados en trabajar el tema de la Modelación de Biodiversidad con el enfoque del MSA a escala de país.

Confiamos que este texto sea de mucha utilidad a los profesionales que tienen la tarea de generar, presentar o interpretar información relacionada con el estado de la biodiversidad en los países de la región centroamericana.



## CONSIDERACIONES PRELIMINARES

El manual trata sobre la utilización de las metodologías GLOBIO3 y CLUE-S para la modelación del estado actual y futuro de la biodiversidad, según tendencias proyectadas o según el desarrollo de diversos escenarios. Está basado en los manuales desarrollados por Van Rooij (2008) y Verburg (2008), los cuales contienen las metodologías a emplearse en el proceso de modelado.

Este texto se divide en cuatro secciones principales: primero, se presentan los conceptos teóricos de la metodología GLOBIO (GLOBIO - Conceptos), luego el tutorial (GLOBIO - Tutorial) y al final se explica con la misma estructura el modelo CLUE (CLUE - Conceptos y CLUE - Tutorial). Debido a las exigencias tecnológicas de los modelos, el manual ha sido diseñado para ser utilizado idealmente por personas con experiencia en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente con dominio del programa ArcGIS. Sin embargo, las secciones de *Conceptos* han sido desarrolladas para ser utilizadas también por el personal de instituciones interesadas en el monitoreo de biodiversidad, sin experiencias en SIG, pero que desean entender la metodología o necesitan interpretar los resultados de la misma.

El manual está diseñado para que la lectura y los ejercicios se realicen de manera autodirigida. Los archivos necesarios para la realización de los ejercicios se encuentran en el disco compacto que se adjunta con el manual. Para completar adecuadamente los ejercicios se recomienda disponer de una computadora con un mínimo de 1 G en memoria RAM, 1 GHz de velocidad de procesador, 20 G de disco duro y con el programa ArcGIS 9.x instalado. Es necesario utilizar al menos tres días completos de revisión del manual, desde la lectura de su base conceptual hasta la conclusión de sus tutoriales.

Es importante aclarar que en los tutoriales se utilizan modelos de mapas de Nicaragua que fueron proporcionados por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) de ese país, de los cuales sus datos han sido manipulados para desarrollar los puntos que tratan los ejercicios, por lo tanto no reflejan la situación real de aquel país centroamericano.

El contenido de este manual y los datos para prácticas relativas al resto de los países de Centroamérica estarán disponibles en el sitio Web del IRBIO: [www.irbiocad.org](http://www.irbiocad.org)

## GLOBIO - Conceptos

GLOBIO3 es una metodología para la modelación de biodiversidad basada en presiones derivadas de la intervención humana. Fue desarrollado por la Agencia Holandesa de Evaluación Ambiental (PBL) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), en el marco de los compromisos adoptados por los participantes de la Convención de Diversidad Biológica (CBD), para reducir significativamente la tasa de pérdida de diversidad biológica a escala global, regional y nacional, como una contribución al alivio de la pobreza. El objetivo de la metodología es evaluar los efectos de las presiones ambientales en la biodiversidad, medir la importancia relativa de tales presiones, proyectar las tendencias y evaluar los efectos de las respuestas u opciones de política potenciales ante escenarios futuros. Los resultados del modelo GLOBIO pueden ser utilizados por los tomadores de decisiones en entidades gubernamentales u organismos internacionales, para llamar la atención pública sobre la pérdida o conservación de biodiversidad, asociada a diversos factores y alternativas de desarrollo, y evaluar la efectividad de las medidas de acción antes de su implementación.

En sus inicios, la metodología GLOBIO fue concebida e implementada en una escala global, para evaluar tendencias en la biodiversidad de orden macro. Sin embargo, tal metodología se puede aplicar a menor escala, como por ejemplo en un país, puesto que los requerimientos de información son intensivos y los datos suelen estar más completos a tal escala, así los resultados son más detallados, confiables y por tanto más aplicables. Para trabajar en una región integrada por varios países, puede ejecutarse el modelo para cada uno de ellos y luego se agregan los resultados para modelar el de toda la región. De igual manera, existe la posibilidad de desagregar los resultados en subunidades administrativas, tales como provincias, departamentos o áreas protegidas, lo cual facilita el trabajo en áreas menores. Cabe destacar que la metodología ha sido diseñada para trabajar únicamente con ecosistemas terrestres, por lo cual los cuerpos de agua quedan excluidos del análisis.

El indicador utilizado en GLOBIO para medir la biodiversidad es la Abundancia Media de Especies (Mean Species Abundance o MSA por sus siglas en inglés). Según Alkemade *et al* (2009) el MSA describe la biodiversidad como la abundancia de especies remanente de la abundancia original que existió en una determinada ubicación cuando ésta se encontraba en estado primario o prístino. Los valores de MSA oscilan entre 0 y 1. Un valor de MSA de 1 significa un 100% de biodiversidad original (o que la biodiversidad remanente es de 100%), como sucede en los bosques primarios o prístinos. En cambio, un valor de MSA de 0 significa un 0% de biodiversidad original (o que la biodiversidad original remanente es igual a 0%), como puede suceder en las zonas urbanizadas.

El MSA se asemeja a otros índices, tal como el Índice de Integridad de Biodiversidad (IIE), pero con un aspecto particular, puesto que el MSA está basado en la abundancia original de especies, los valores de MSA varían sólo según el grado de intervención que tenga una ubicación, sin comparar - como hacen otros índices- la riqueza de especies de diferentes ubicaciones no intervenidas. En otras palabras, un bosque primario tropical no intervenido, con miles de especies, tendría el valor MSA de 1 y que un bosque primario boreal no intervenido tendría igual valor MSA con sólo unas

cuantas decenas de especies. Además, el MSA se enfoca en la ocurrencia de especies en general, sin tomar en cuenta el tamaño de las poblaciones de cada especie o la proporción de cada una de ellas en la población total.

Para determinar el MSA de cada ubicación en un área, la metodología GLOBIO combina los efectos de una serie de presiones, tales como: uso de suelos, infraestructura, fragmentación, deposición de Nitrógeno y cambio climático. Estas presiones han sido seleccionadas a partir de un meta análisis de la literatura científica que ha permitido determinar su importancia como impacto y sus relaciones con la biodiversidad. El último punto consiste en determinar las relaciones cuantitativas de causa y efecto entre las presiones y la biodiversidad. Para algunas presiones, los valores de MSA se han estandarizado en categorías generales; para otras, se han calculado regresiones logísticas que determinan el valor del indicador en una situación específica. En este documento se analizan separadamente cada una de estas presiones.

### Impacto por cobertura/uso de suelo

El uso del suelo es el factor que más influencia ejerce en la biodiversidad de una zona, debido principalmente a la alteración de los ecosistemas naturales y su transformación a usos antropogénicos. La magnitud de los cambios físicos de la cobertura vegetal y con ello de todo el ecosistema, está ligada con la intensidad de los usos del suelo, que a la vez determinan el grado de afectación de la biodiversidad. Así, los sistemas tradicionales de uso del suelo agropecuario suelen ser altamente productivos, pero tienen un alto impacto en la biodiversidad, pues su eficiencia radica precisamente en su especialización en la producción o sostenimiento de un limitado número de especies cultivadas.

En la metodología GLOBIO se han determinado valores de MSA correspondientes a una serie de clases genéricas de uso del suelo, algunos de los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Clase Bd	Nombre	Valor MSA
10	Bosque primario	1.0
11	Plantación forestal	0.2
12	Bosque secundario	0.5
13	Bosque primario ligeramente intervenido	0.7
20	Agroforestería	0.5
30	Agricultura extensiva	0.3
31	Agricultura intensiva irrigada	0.05
32	Agricultura intensiva	0.1
33	Perennes y biocombustibles	0.2
40	Pastizales y matorrales naturales	1.0
41	Pastizales artificiales	0.1
42	Áreas de pastoreo	0.7
50	Suelos desnudos y nieves naturales	1.0
60	Cuerpos de agua naturales	Nulo
61	Cuerpos de agua artificiales	Nulo
62	Ríos y arroyos	Nulo
70	Áreas construidas	0.05

**Tabla 1.**  
Valores de MSA para  
clases genéricas de  
uso del suelo

Los valores MSA han sido determinados por medio de la revisión de más de 140 publicaciones sobre riqueza y abundancia de especies en 92 coberturas de suelo de los cinco continentes. Se compara la abundancia de una especie encontrada en un ecosistema intervenido con la encontrada en un ecosistema primario y se obtiene una proporción. Las proporciones de todas las especies que corresponden a una misma clase de uso del suelo se promedian para dar el valor de MSA para ese uso. Como las relaciones han sido estimadas a escala global y no están diseñadas para ser aplicadas directamente a escala nacional, se pueden utilizar estos valores como referencia cuando no se dispone de información sobre la Abundancia Media de Especie de cada uno de los usos del suelo de un país.

Los valores de la columna *Clase Bd* son códigos utilizados para indicar una clase de biodiversidad. Se puede observar que se enumeran como 1 las cuatro clases de bosque, con 2 la clase de agroforestería, 3 las cuatro clases agrícolas, 4 las tres áreas de pastizales, 5 la clase de áreas naturales desnudas, 6 las tres clases de cuerpos de agua y 7 la clase de áreas construidas. Estos códigos serán utilizados durante los ejercicios en algunos cálculos donde sea necesario generar un valor único para cada clase.

Como insumo para realizar la modelación de biodiversidad de un país se utiliza el mapa nacional de usos de suelo más reciente, confiable y disponible, de ser posible, de la agencia oficial responsable para lograr una mayor aceptación y credibilidad de los resultados. Los usos del suelo del mapa nacional se tienen que reclasificar según las clases de uso del suelo genéricas. Sin embargo, existe la posibilidad de generar nuevas clases de uso que permitan aprovechar el detalle en las clases que se encuentran en el mapa nacional. Para esto, se pueden establecer valores de MSA interpolados con la ayuda de un grupo de expertos en biodiversidad de la zona bajo estudio. Así se asignan valores intermedios de MSA a las clases de uso del suelo que no encuentren correspondencia adecuada con ninguna de las clases generales. Este proceso se describe con más detalle en el Anexo II de este manual.

Puesto que la biodiversidad remanente de una ubicación es relativa a su biodiversidad original se puede utilizar además un mapa nacional de ecosistemas o biomas para facilitar la reclasificación de ciertos usos de suelo. Por ejemplo, una clase llamada *bosque de baja densidad* puede ser reclasificada como bosque primario si pertenece a un bioma de Tundra, que es una vegetación naturalmente rala, si el bioma original es un Bosque Tropical Húmedo Latifoliado sería más adecuado reclasificarla como bosque secundario.

## Impacto por infraestructura

Las vías de comunicación tienen un papel determinante en el desarrollo de la sociedad, ya que permiten conectar los pueblos y las ciudades y fomentan toda actividad económica en general. Sin embargo, las vías tienen también efectos negativos en la biodiversidad de las áreas que intervienen. Aunque todas las vías de comunicación -tales como caminos, canales, vías de trenes, senderos y los más significativos corresponden a las carreteras y caminos más transitados- tienen un efecto que se relaciona con los distintos aspectos de su construcción y presencia.



Según Van Roij (2008), el primer impacto de las carreteras es la fragmentación que causan. Aunque el área que ocupan por sí mismas suele ser solamente una fracción del área total de una zona, la presencia de las carreteras representan ya un impacto. Una carretera a través de un área natural aumenta la proporción borde/área total del sistema. Las condiciones de iluminación, ventilación, temperatura y humedad que existen en el ecosistema se alteran, ocurriendo lo que se conoce como efecto de borde. De esta forma, se genera un impacto directo en algunas especies de plantas y animales menores, y consecuentemente en el resto de las cadenas tróficas que componen un sistema.

Por otro lado, las carreteras representan una barrera física para los animales que necesitan cruzarlas de un lado a otro. Además de la longitud de las carreteras y la exposición al tráfico, algunos de sus materiales alcanzan temperaturas que vuelven imposible el cruce para algunos animales. Otras carreteras cuentan con barreras que separan un carril del otro, agravando la situación. Así, se reduce el hábitat e imposibilita las migraciones de la fauna, quedando confinadas a un lado de las carreteras.

Finalmente, el impacto más importante que tienen las carreteras y caminos es el derivado de la intensificación de la presencia humana a sus alrededores. El acceso que brindan los caminos abre la posibilidad a la explotación de los recursos naturales y al cambio de uso de suelo, tal como suele observarse claramente en los campos agrícolas y los asentamientos humanos a lo largo de las carreteras.

Los efectos en el MSA por la presencia de una carretera están en función de varios factores, como: el tipo de uso de suelo en el área, la distancia de una ubicación respecto a la carretera y la densidad poblacional. Los usos de suelo con un alto número de especies asociadas a su biodiversidad original sufren mayores impactos que aquellos usos con menos especies. De hecho, en el GLOBIO, el impacto por infraestructura sólo es calculado para los usos de suelo naturales, pues en los usos no naturales, como la agricultura, los pastizales artificiales y las zonas construidas, tal impacto ya ha sido tomado en cuenta en su MSA por uso de suelo. Las distancias respecto a las carreteras determinan la zona de influencia de los efectos: a mayores distancias, los efectos se atenúan hasta llegar a un punto donde la infraestructura no tendrá influencia en la biodiversidad. Los efectos también varían dependiendo de la población que habita el área de influencia: a mayor densidad de población, mayor intensidad de intervención humana y menor valor de MSA.

La Tabla 2 muestra las tres categorías de impacto, cada una con un valor de MSA asociado que se han determinado para las ubicaciones en función de su distancia a las carreteras. En otras palabras, representan la extensión de las zonas de impacto según los factores descritos anteriormente. Observe que las zonas de impacto son mayores en los usos naturales con un alto número de especies y en las zonas densamente pobladas. Estas relaciones han sido derivadas del modelo de impacto en biodiversidad por infraestructura GLOBIO2, desarrollado también por el PBL.

**Tabla 2.** Valores de MSA y zonas de impacto por infraestructura según uso y densidad poblacional.

Distancia (km) del buffer del efecto	Agrícola	Pastos	Bosque Boreal	Deciduo	Bosque Tropical	Desiertos	Pantanos	Tundra	Nieves/ Áridos
<b>Impacto 1 (MSA = 0.5)</b>	0.5	0.5	0.3	0.3	1	0.5	0.5	1	0.5
Densidad/pob 0-10 / km <sup>2</sup>	0.25	0.25	0.15	0.15	0.5	0.25	0.25	0.5	0.25
Densidad/pob 10-50 / km <sup>2</sup>	0.5	0.5	0.3	0.3	1	0.5	0.5	1	0.5
Densidad/pob >50 / km <sup>2</sup>	0.75	0.75	0.45	0.45	1.5	0.75	0.75	1.5	0.75
<b>Impacto 2 (MSA = 0.75)</b>	1.5	1.5	0.9	0.9	3	1.5	1.5	3	1.5
Densidad/pob 0-10 / km <sup>2</sup>	0.75	0.75	0.45	0.45	1.5	0.75	0.75	1.5	0.75
Densidad/pob 10-50 / km <sup>2</sup>	1.5	1.5	0.9	0.9	3	1.5	1.5	3	1.5
Densidad/pob >50 / km <sup>2</sup>	2.25	2.25	1.35	1.35	4.5	2.25	2.25	4.5	2.25
<b>Impacto 3 (MSA = 0.9)</b>	5	5	3	3	10	5	5	10	5
Densidad/pob 0-10 / km <sup>2</sup>	2.5	2.5	1.5	1.5	5	2.5	2.5	5	2.5
Densidad/pob 10-50 / km <sup>2</sup>	5	5	3	3	10	5	5	10	5
Densidad/pob >50 / km <sup>2</sup>	7.5	7.5	4.5	4.5	15	7.5	7.5	15	7.5

En los cálculos del MSA en ArcGIS se utiliza como insumo el mapa nacional de carreteras. Dependiendo del grado de detalle del mismo, se seleccionan los caminos y carreteras transitados donde se considere que el impacto por infraestructura es significativo y se genera un mapa de distancia a las carreteras efectos (aunque se sugiere también incluir caminos menores y recientes por el impacto potencial de degradación que tendrán en el futuro). También se utilizan como insumo, mapas nacionales de usos de suelo y densidad

poblacional, que son los otros factores que determinan el impacto en una ubicación. Para integrar estos factores, se ha diseñado un script en Python para ArcGIS que genera automáticamente el mapa de impacto por infraestructura. La instalación y el funcionamiento de este script se describen en la sección GLOBIO - Tutorial.

## Impacto por fragmentación

Ya se ha mencionado que las vías y carreteras fragmentan las áreas naturales al constituir una barrera física, generando así una serie de parches aislados donde las condiciones naturales se ven alteradas. La fragmentación reduce el hábitat disponible para las poblaciones de especies que quedan aisladas en parches, seguido por una disminución de individuos y poblaciones, hasta la extinción local, ya que los procesos ecológicos son reducidos y las condiciones no son aptas para mantener a todas las especies.

Cada especie requiere de un área determinada para sostener una población mínima viable. Según Shaffer (1981) la Población Mínima Viable (PMV) es la población aislada mínima capaz de sobrevivir a través del tiempo y resistir alteraciones demográficas, genéticas y ambientales. Algunos tamaños de parches no son lo suficientemente grandes como para sostener las poblaciones de ciertas especies. El impacto en el MSA se sustenta en este hecho y establece que entre menor sea el tamaño del parche, menor es el número de especies que puede sostener. A través de una revisión de literatura se ha establecido la relación cuantitativa entre el tamaño del parche y el MSA.



**Tabla 3.** Valores de MSA para los distintos tamaños de parches de área aislada.

Área (km <sup>2</sup> )	Valor MSA
1	0.5500
10	0.7122
100	0.8543
1000	0.9581
10000	0.9836
100000	1.0000
> 100000	1.0000

Lo que ilustra la Tabla 3 es que en un parche de 1 km<sup>2</sup> la biodiversidad remanente (medida por la Abundancia Media de Especies) del impacto por fragmentación es de 55%; visto de otra forma, ha habido una pérdida del 45% de la biodiversidad debido al impacto de la fragmentación. Aunque esta tabla muestra los valores de MSA para tamaños específicos del área de los parches, los valores han sido calculados para toda la serie continua de rangos, abarcando todos los tamaños posibles de parches. Observe que al igual que el impacto por infraestructura, llega un punto en donde el valor de MSA es 1; es decir, que no hay un impacto en el MSA por esa presión, en tal caso, eso sucede cuando el tamaño del parche es lo suficientemente grande para no afectar la sostenibilidad de las poblaciones mínimas viables de las especies que habitan en él.

Para generar el mapa de impacto en el ArcGIS, se utiliza el mapa de carreteras para calcular las áreas naturales aisladas o parches de área natural que se generan por efecto de la infraestructura. Se calcula el tamaño de cada una de estas áreas y, según la cifra resultante, se les asigna el valor de MSA correspondiente a partir de la versión extendida de la Tabla 3. Hay que recordar que se utilizan los mismos criterios que en el cálculo del impacto por infraestructura para seleccionar las carreteras y caminos. Como ya se ha explicado, se excluyen las áreas no naturales de los cálculos ya que en ellas no existen las especies originales y los mismos campos son fragmentados en el paisaje.

Cabe aclarar que la distancia entre los parches también tiene un efecto en el mantenimiento de la PMV de las especies. La distancia entre parches condiciona la capacidad de las especies de colonizar nuevas zonas o de sostener intercambios genéticos entre poblaciones de parches circundantes. Sin embargo, dada la complejidad que involucra incluir este aspecto, el mismo no será tomado en cuenta en los cálculos.

### Impacto por deposición de Nitrógeno

La deposición de Nitrógeno es un proceso que ocurre naturalmente de forma cíclica entre la atmósfera, las aguas, las plantas y los animales. Sólo un 2% del Nitrógeno del planeta entra en este ciclo, mientras que el restante 98% se encuentra fijado en la tierra sólida. Las actividades industriales, la combustión de energía fósil, la intensificación de la actividad agropecuaria que lleva consigo el uso de fertilizantes nitrogenados, son actividades humanas que generan una alta

cantidad de emisiones de tal elemento (Ecotropía, 2003). Estas emisiones han alterado sustancialmente la forma y cantidad de Nitrógeno en la atmósfera, provocando un aumento en la deposición de Nitrógeno atmosférico en las áreas naturales cercanas a las zonas de intensa actividad humana.

Cada ecosistema tiene un umbral de exposición al Nitrógeno y al ser rebasado el mismo, los efectos de la deposición de Nitrógeno son perjudiciales al ambiente. A este umbral se le conoce como "carga crítica", que depende de las características particulares del ecosistemas, tales como la composición de sus suelos, su temperatura, la presencia de microorganismos y los requerimientos de Nitrógeno por las especies que lo habitan, de tal manera que algunos ecosistemas resultan más sensibles que otros (Porter *et al*, 2000). En las zonas donde la deposición de Nitrógeno sobrepasa la carga crítica ocurre lo que se conoce como un "excedente" de Nitrógeno.

El excedente de Nitrógeno acarrea una serie de consecuencias. Por un lado, actúa como nutriente, promoviendo el crecimiento de las especies vegetales que tengan la capacidad de acumular y utilizar el Nitrógeno adicional. En un sistema terrestre esto significa un desequilibrio en la dominancia de unas plantas sobre otras; en un sistema acuático significa una eutroficación de las aguas y el sobrecrecimiento de algas. Por otro lado, el Nitrógeno actúa como tóxico al infiltrarse y acidificar los suelos y las fuentes de agua. Esto se traduce en la reducción del calcio y el aluminio disponibles como nutrientes para las plantas y en una alteración del hábitat de las especies de peces, anfibios y macroinvertebrados. Aunque la metodología no modela los cambios en la biodiversidad de los cuerpos de agua, los efectos del excedente de Nitrógeno en las especies acuáticas afectarán a las especies terrestres que necesitan de ella para su supervivencia.

La Tabla 4 muestra las ecuaciones de regresión que relacionan los excedentes de Nitrógeno con el MSA en diferentes ecosistemas.

Estas relaciones se han determinado a partir de la revisión de literatura.

**Tabla 4.** Valores de MSA para los distintos ecosistemas según su excedente de Nitrógeno.

<b>Ecosistema</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Aplicado a las clases generales</b>
Ecosistema Ártico-alpino	$MSA_N = 0.9 - 0.05 NE$	Nieves y hielos
Bosque de coníferas boreal	$MSA_N = 0.8 - 0.14 \ln (NE)$	Bosques
Pastizales	$MSA_N = 0.8 - 0.08 \ln (NE)$	Pastos y Matorrales

*NE = Excedente de Nitrógeno*

Para calcular este impacto en el ArcGIS se utilizan los mapas mundiales de deposición y carga crítica de Nitrógeno derivados del modelo IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment) diseñado por el PBL. IMAGE modela las consecuencias ambientales de la actividad humana a nivel global y uno de los aspectos que explora es la deposición de Nitrógeno. De los mapas globales se realizan las extracciones para el país. Luego se calcula la diferencia entre los dos mapas de deposición y carga crítica de Nitrógeno del país para obtener el excedente. Según el mapa de usos de suelo, se aplican las ecuaciones de regresión a las zonas de bosques y pastizales (y nieves si las hubiera) para obtener sus valores de MSA. El cálculo no aplica a las zonas agrícolas, ya

que el efecto de la deposición de Nitrógeno no es significativo (disponible en forma de fertilizantes). Se hace notar que es posible que en algunas zonas -o incluso en el país entero- las deposiciones quizá no superen los niveles de carga crítica, esto suele suceder en aquellos países donde las actividades industriales y el tráfico no han alcanzado intensidades críticas y los ecosistemas no son tan sensibles, o donde no existen datos detallados. En esos casos el impacto en el MSA por la deposición de Nitrógeno sería igual a 0, por tanto el valor de MSA se mantendría como 1.

Si se dispone de información nacional sobre la deposición y carga crítica de Nitrógeno esta información podría ser utilizada en lugar de los datos globales.

### Impacto por Cambio Climático

Se conoce como cambio climático al aumento irregular de las temperaturas, asociado a las excesivas emisiones de gases de efecto invernadero. Este aumento anómalo que se desvía de los patrones cíclicos de variación de temperatura, se relaciona con una serie de efectos en la distribución de las especies y por tanto en la biodiversidad de las regiones. Los cambios en los patrones climáticos locales forzarán a movilizarse a aquellas especies que tienen las posibilidades de dispersión fuera de sus hábitats originales, en busca de las condiciones adecuadas para su desarrollo y en los demás casos a extinguirse.

La relación entre cambio climático y biodiversidad en términos del MSA resulta compleja de establecer, por lo cual se continúa realizando trabajos de investigación. No obstante, en las investigaciones realizadas se ha logrado estimar una relación a partir de modelos de regresión simple. En la metodología GLOBIO se utiliza la regresión simple  $MSA = 1 - Pendiente * \Delta t$ . El  $\Delta t$  se refiere al cambio de temperatura anual que se espera para el año en el que se hace la modelación; es decir, el año del mapa de uso de suelos que se utilice. Las medidas de los cambios de temperatura se han tomado de los escenarios proyectados por la OECD y se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cambio de temperatura, Escenario Base OECD.

Año	oC
1970	0.187
1975	0.179
1980	0.217
1985	0.302
1990	0.382
1995	0.496
2000	0.569
2005	0.647
2010	0.759
2015	0.882
2020	1.007
2025	1.149
2030	1.298
2035	1.432
2040	1.573
2045	1.714
2050	1.847

Las pendientes han sido tomadas del modelo IMAGE para diferentes biomas y se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Pendiente por Bioma. Modelo IMAGE.

Bioma	Pendiente° (C <sup>-1</sup> )
Hielos	0.023*
Tundra	0.154
Tundra (maderable)	0.284
Bosque boreal	0.043*
Bosque de coníferas de tierra fría	0.168
Bosque templado mixto	0.045*
Bosque templado deceduo	0.100*
Bosque mixto de tierra cálida	0.052*
Pastos	0.098*
Desierto	0.036*
Arbustos	0.129*
Sabana	0.093*
Tropical (maderable)	0.039*
Bosque tropical	0.034*

Para realizar el cálculo del impacto en ArcGIS, se extrae el corte del país del mapa global de ecoregiones del modelo IMAGE y se reclasifican las regiones con sus aproximaciones a los biomas de la Tabla 6. A estos biomas reclasificados se les aplica la regresión lineal con el  $\Delta t$  correspondiente, para obtener los valores de MSA.

## Impacto total en el MSA

El impacto total en el MSA consiste en la combinación de los cinco impactos anteriores. Como se mencionó anteriormente el MSA de una ubicación o lugar oscila entre 0 y 1, desde una abundancia media de especies totalmente degradada igual a 0%, hasta una abundancia media intacta de un 100%. Como cada impacto fue calculado como un efecto sobre el MSA total en una escala de 0 a 1, la combinación de estos efectos se realiza a partir de la multiplicación de los mismos, es decir:

$$MSA_{Total} = MSA_{Uso\ de\ suelo} * MSA_{Infraestructura} * MSA_{Fragmentación} * MSA_{DeposiciónN} * MSA_{CambioClimático}$$

Al multiplicar los cinco mapas en ArcGIS, se genera un mapa que contiene el valor de MSA (es decir, el porcentaje de MSA remanente) para cada una de las ubicaciones del país. Es por esta razón que en las situaciones donde una presión no tiene impacto en el MSA, el valor de éste es 1, para no afectar la multiplicación.

## Resultados e interpretación

El mapa de impacto total con los valores de MSA es sólo un primer producto de la metodología. Una vez realizado el cálculo, se exporta la base de datos a Access para realizar una serie de consultas (*queries*) que permiten agregación de los datos de toda el área y así obtener el valor total de MSA del país o de sub unidades del país.

Por lo tanto, en las tablas de resultados se deben incluir parámetros para agrupar la información. Por ejemplo, obtener los valores de MSA para los departamentos, provincias o áreas protegidas. El análisis en Acces también le permite desagregar la pérdida de MSA en los cinco factores, para determinar cuáles son los más influyentes. Posteriormente, se exportan los resultados a Excel para construir tablas, gráficos y figuras que ilustren mejor los resultados.

En primera instancia, se calcula el MSA de la situación actual, para después generar la información de otros años (pasado o futuro). Es importante tomar en cuenta las diferencias temporales entre los distintos insumos, aunque por lo general se toma el año del mapa de uso de suelo como base. Combinando este resultado con los de modelaciones de distintos años es posible comparar tendencias o evaluar opciones de política bajo diferentes escenarios. Para esto, es necesario contar como mínimo con un mapa de uso de suelo a futuro -utilizando la metodología CLUE, que se explica en la segunda parte de este manual- y a partir de ello, recalculan las demás presiones. Entre los resultados se obtienen mapas, tablas y gráficos de cómo sería el MSA remanente en el área bajo las condiciones del escenario proyectado.

Esta característica permite utilizar el modelo para conocer las consecuencias de las intervenciones humanas en la biodiversidad y comparar los resultados de las diferentes alternativas de desarrollo que se prevean. Para los tomadores de decisiones, el modelo no sólo es interesante por los resultados de la metodología, sino por la forma de presentación de los mismos, puesto que los mapas y los gráficos son una forma atractiva de desplegar una gran cantidad de información.

Al interpretar y presentar los resultados, recuerde que el MSA es utilizado como un enfoque para representar la biodiversidad, pero no pretende abarcar toda la complejidad que la biodiversidad implica. De ser posible, para la toma de decisiones se debe complementar el enfoque del MSA con otros indicadores que exploren la biodiversidad en términos de riqueza de especies, distribución de poblaciones, estado de ecosistemas, genes y uso sostenible, entre otros.

## Datos de insumo\*

### 1. Mapa de uso de suelos

Idealmente se debe incluir el mapa nacional de uso de suelos más reciente. Si no hay uno disponible, es posible extraerlo del mapa global de usos de suelo GLC2000, ver: <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/>.

### 2. Mapa de carreteras

Mapa nacional de carreteras con las vías y caminos principales. De no estar disponible, puede extraerse del mapa mundial de carreteras (World Road Map), disponible en: <http://www.maproom.psu.edu/dcw/>.

### 3. Parches de área natural

Se construirá a partir de los mapas de carreteras y de uso de suelo. Constituye los fragmentos de áreas naturales aisladas por la presencia de caminos y/o áreas no naturales.

### 4. Mapas de deposición y carga crítica de Nitrógeno

Se puede derivar de diferentes escenarios del modelo global IMAGE, disponible en: <http://www.mnp.nl/en/index.html>, de la Netherlands Environmental Assessments Agency. Si se dispone de mapas de deposición y carga crítica de Nitrógeno a escala nacional, también pueden ser utilizados. Para el caso de Nicaragua, los niveles son tan bajos que no necesitan ser tomados en cuenta.

### 5. Información sobre el cambio climático

Se puede derivar de diferentes escenarios del modelo global IMAGE, disponible en: <http://www.mnp.nl/en/index.html>, de la Netherlands Environmental Assessments Agency. Si se dispone de mapas de temperaturas medias a escala nacional, también pueden ser utilizados.

### 6. Mapa de ecosistemas

Se puede extraer del mapa global de biomas y eco regiones de la WWF, disponible en: <http://www.worldwildlife.org/science/data/terreco.cfm>. Representa la vegetación potencial de cada ubicación.

### 7. Áreas protegidas

Mapa nacional de áreas protegidas, si está disponible o se hace la extracción del mapa global de áreas protegidas de la UNEP (PNUMA), disponible en: <http://www.unep-wcmc.org/wdpa/download.cfm>.

Toda la modelación se trabaja con mapas en el formato *raster* (grid o cuadrícula), con la misma proyección y el mismo número tamaño de celdas. Muchos de los insumos se encontrarán en el formato *shape*, con proyecciones y configuración de celdas distintas. En esos casos será necesario trabajar los archivos para convertirlos a *raster* en el formato adecuado antes de integrarlos al modelo. Estos procedimientos serán explicados paso a paso más adelante.

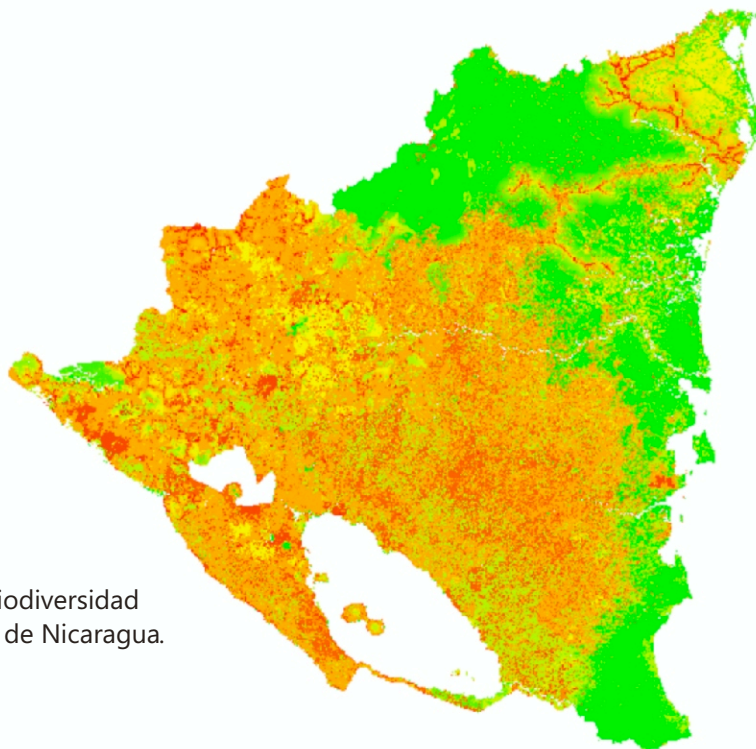
\* Tomado de Van Roijt, 2008

## Contenido de la carpeta

Este tutorial es acompañado con una carpeta que contiene un estudio de caso, con los archivos necesarios para la ejecución de los modelos GLOBIO 3 y CLUE-S. En la misma se encuentra un folder con el nombre de Practica\_GLOBIO\_Nicaragua. La estructura del contenido de la carpeta es la siguiente:

- Cinco carpetas con los archivos para calcular los MSA por presiones.
- Una carpeta con los archivos para calcular el MSA total.
- Una carpeta de Áreas Protegidas (Query\_AP) y una de departamentos (Query\_DEPTO), con los *shapes* para desagregar los resultados finales.
- Una carpeta con los archivos de Excel (TABLAS).
- Una carpeta con el archivo máscara (MÁSCARA).
- Una carpeta con la extensión de ArcToolbox, para el MSA de Infraestructura (Honduras\_bm).

El estudio de caso que se trabajará es el de Nicaragua. Dicho país tiene una extensión aproximada de 130,000 km<sup>2</sup>; sus límites son: al norte, con Honduras; al sur, con Costa Rica; al este, con el océano Pacífico; y, al oeste, con el océano Atlántico. En su geografía se distinguen tres zonas: en el pacífico se concentra la actividad agrícola intensiva, urbana e industrial; en la zona central predominan las actividades ganaderas y los cultivos de clima templado (tabaco y café); en la zona atlántica se encuentran los remanentes de bosques, hay una menor densidad de población y las prácticas agrícolas tienden a ser más extensivas.



**Figura 1.**  
Mapa de biodiversidad  
remanente de Nicaragua.



Se ha escogido el caso de Nicaragua por la disponibilidad de la información necesaria para ejecutar los modelos, esto gracias a la colaboración de las autoridades del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) nicaragüense.

## Preparación

Antes de comenzar el trabajo en ArcGIS hay que asegurarse de conocer las siguientes generalidades:

- Para organizar el trabajo con el modelo GLOBIO es aconsejable, en cada nueva modelación, crear una carpeta en el Disco C y dentro de ella crear carpetas para cada una de las presiones del modelo, haciendo lo mismo para el resultado final. El objetivo es trabajar en directorios separados por tema (p.e.: uso de suelo, infraestructura, Nitrógeno, etc.), para mantener organizados los archivos y almacenarlos en vez de tenerlos como archivos temporales. Cuando se trabaje en un directorio, se deben guardar todos los archivos que se generen (sean *shapes*, *rasters*, textos o tablas) en ese mismo directorio, a menos que se especifique lo contrario.

En este ejercicio simplemente debe copiarse la carpeta Practica\_GLOBIO\_Nicaragua en el Disco C.

- No deben utilizarse espacios en los nombres de los archivos y se debe limitar la extensión de los mismos a un máximo de 13 caracteres; de lo contrario ArcMap rechazará el nombre.
- Utilizar exclusivamente el programa ArcCatalog para mover, copiar o eliminar archivos.  
Si se utiliza el explorador de archivos en vez del ArcCatalog, sus archivos de ArcMap pueden corromperse. Si uno de los archivos parece estar fallido, primero hay que tratar de reiniciar ArcGIS. Si no funciona, debe cerrarse el programa y tratar de eliminar los archivos *.aux* y *.rrd* (hacerlo en el explorador normal, fuera del ArcCatalog) que pertenezcan al archivo, antes de reiniciar el programa nuevamente.

Limpiar los archivos erróneos o temporales utilizando el ArcCatalog, antes de iniciar una nueva sesión.

- Siempre deben conservarse copias de los archivos originales; podrían ser útiles en caso de que los originales se alteren o se corrompan.
- En este texto se designan nombres específicos a los archivos para facilitar la comprensión del tutorial. Sin embargo, es aconsejable utilizar siempre nombres de archivos lógicos y simples.
- Dado que se utilizará frecuentemente el Spatial Analysis, por tanto es importante recordar activar la extensión en el menú **Tools/Extensions** y marcar luego la casilla de *Spatial Analysis* en el menú **View/Toolbars**.
- Hay que tener presente que ArcMap utiliza la proyección del primer archivo que se cargue en la pantalla. Cuando se agregue un nuevo archivo o capa al mapa con una proyección distinta, ArcMap trata de mostrarlo en la vista actual con la proyección del primer archivo o capa, pero no cambia realmente la proyección. Cuando se trate de cambiar la proyección de un archivo o capa con proyección diferente a la de la vista, podría ocurrir un conflicto de datum. Para evitar errores, debe abrirse el archivo al que se desea dar una nueva proyección en una vista vacía.

## Cálculo de los impactos por presiones

Dado que algunos de los mapas de impactos por presiones dependen del resultado de los cálculos realizados para otras, existe un orden para elaborarlos. Comience por el cálculo de la presión por uso de suelo y continúe con el de presión por infraestructura. Los demás cálculos pueden realizarse después de éstos.

Como el mapa de MSA se calcula multiplicando todos los mapas *raster* de impacto por presiones, debe asegurarse que todos tengan la misma extensión, tamaño de celda y contengan sólo valores entre 0 y 1. Hay que notar que, por ser multiplicación, un valor de cero en uno de los mapas dará como resultado un valor de cero en el mapa de impacto final y un valor nulo en uno de ellos dará como resultado un valor nulo en el mapa de final, por lo cual debe verificarse que estos valores no se asignen por error a una celda. Para asegurar que todos los *raster* tengan la misma extensión de área y tamaño de celda se aconseja crear un archivo máscara. Esta máscara servirá para realizar cortes, extracciones y correcciones en los mapas de insumo para el modelo. Posteriormente se explicará cómo generar este tipo de archivo.

### Impacto por cobertura/Uso de suelo

#### Configuración inicial

Al iniciar el trabajo en ArcMap deben seguirse una serie de pasos generales:

- Como ya se ha mencionado, todos los mapas que se empleen deben estar en la misma proyección. Para el caso de Nicaragua, se utilizará el Sistema de Coordenadas Proyectada en la proyección WGS\_1984 16N. Cada vez que se cargue una capa deben verificarse las propiedades de la proyección (*Layer Properties*) y en caso de no ser las correctas, entonces debe corregirse yendo al menú **Data Management Tools/Projections and Transformations/Define**, allí debe definirse el sistema de coordenadas del mapa. Si se necesita cambiarlo o si el archivo no está proyectado, en el mismo menú vaya a **Toolbox** de *Feature* (o *Raster* dependiendo de su tipo de archivo) y seleccione la herramienta *Project* (o *Project Raster*). Definirlo de la siguiente manera:

Input Feature Class/*Raster*: Seleccionar el archivo que se desea proyectar;

Input Coordinate System: Se cargará el sistema de coordenadas original del archivo;

Output Feature Class/*Raster*: Definir el nombre y directorio del nuevo archivo;

Output Coordinate System: Seleccionar el nuevo sistema de coordenadas al que se va a proyectar;

Geographic Transformation: Seleccionar la transformación que va a realizarse (opcional); y,

Dé OK. Es posible que haya conflicto de *datum* entre el archivo reproyectado y el archivo original, si eso sucede, entonces debe abrirse una nueva capa o *layer* y cargar en ella el nuevo archivo.

- En la carpeta *Practica\_Globio\_Nicaragua* busque el folder *MASCARA*. Cargue en el ArcGIS el archivo **mask1** que ya tiene la proyección correcta. Todos los mapas que se trabajen deberán tener las mismas propiedades que este archivo, a menos que se especifique lo contrario. De esta forma todos los archivos tendrán exactamente el mismo número de filas y columnas y los mismos vacíos o celdas nulas. La resolución que se utilizará en este caso para trabajar los mapas será de 500 \* 500m.

- Defina la configuración del Spatial Analyst. Para eso:
  - Vaya a **Spatial Analyst/Options**;
  - En la etiqueta General defina el directorio de trabajo. En el ejercicio será similar a: C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua \\*\_MSA\_\*\*, donde (\*) es el número de la carpeta y (\*\*) el impacto que se esté calculando. En cada ejercicio se especificará el directorio correspondiente.
  - En la opción *Analysis Mask* seleccione el archivo **mask1**.
  - En la opción *Analysis Extent* de la pestaña Extent y en *Analysis Cell Size* de la pestaña Cell Size, seleccione **Same as Layer "mask1"**, que le dará la siguiente configuración:
 

Top:	1664222.13
Left:	425075.25
Right:	915076.25
Bottom:	1185722.13
Cell size:	500
Number of rows:	957
Number of columns:	980

**Datos de insumo:**

Mapa shapefile local de uso/cobertura de suelo (*lu\_nic*)

Tabla de valores de biodiversidad (*Reclass values.xls*)

**Resultados intermedios:**

Uso/cobertura de suelo - Mapa *raster* de clases de biodiversidad (*lu\_nica\_bd*)

**Resultado final:**

Mapa de impacto por uso de suelo (*msa\_lu*)

**Pasos:**

- Abra una vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su **Spatial Analyst** como se explicó anteriormente, utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\1\_MSA\_LU. Cargue ahora el *shape* de uso de suelos **lu\_nic**. Verifique su proyección y corrija si es necesario.
- En el ArcToolBox vaya al menú **Conversion Tools/To Raster/Feature to Raster**. Para *rasterizar* una capa necesita definir los parámetros de la siguiente manera:
 

Input feature:	Capa que desea convertir a <i>raster</i> . Es el insumo de la conversión
Field:	El campo del <i>shape</i> cuyos valores desea mostrar en el <i>raster</i>
Output <i>raster</i> :	El nombre y localización del <i>raster</i> resultado
Output cell size:	El tamaño de las celdas del <i>raster</i> resultado
- Convierta el *shape* de uso de suelo a *raster* con el campo o FieldCLASEFINAL y guarde su resultado con el nombre *lu\_nic\_raster*.

Para obtener el impacto en la biodiversidad por el uso/cobertura de suelo, se asigna a cada una de las clases de uso de suelo su valor de MSA; es decir, el valor relativo de biodiversidad remanente

que tendría un área por estar sujeta a un uso determinado. En el modelo GLOBIO, a través de una extensa revisión de literatura, se han establecido clases generales de biodiversidad y valores de MSA para cada una de ellas (ver sección GLOBIO - Conceptos). Para asignar valores de MSA al mapa de uso de suelo, se reclasifican las clases de uso original en las de biodiversidad y luego a éstas se les asignan los valores MSA predeterminados. Otra alternativa para asignar valores de MSA es que, en lugar de reclasificar los usos de suelo, se interpolen los valores de MSA de clases genéricas a las originales a través del juicio de expertos. Para una explicación de este proceso consulte el Anexo II.

Una vez que tenga los valores de MSA, deberá introducirlos en un archivo .txt o ASCII, con el formato correcto para que pueda reclasificar su mapa *raster* con la opción **Reclass by ASCII file**. Para este ejercicio la reclasificación ya ha sido realizada.

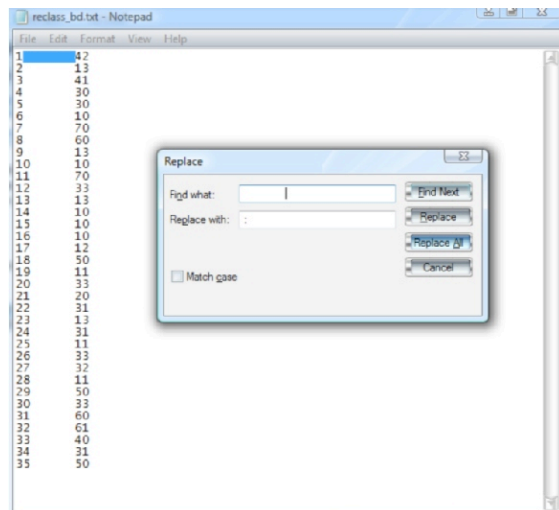
- Abra la tabla de atributos del *raster lu\_nic\_raster*. Exporte la tabla a un formato de Excel o dbf (*Options/Export*). Guarde el archivo en la carpeta 1\_MSA\_LU con el nombre *MSA\_LU* y abra el archivo en Excel. Elimine la columna COUNT (Para exportar una tabla de atributos vaya a la tabla al menú **Options/Export**, seleccione *All records* y defina el nombre y la localización de la tabla en la opción *Output table*).
- En el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\Tablas, abra el archivo **Reclass values.xls**. En este paso se deben reclasificar manualmente las clases de uso de suelo de su mapa original en clases de biodiversidad. Para esto tendrá que añadir en su hoja una columna con el nombre *Bd\_value* y en esa columna hacer la reclasificación de uso de suelo según las de *Bd class* y luego las de MSA de la hoja *Biodiversity value table*. Para este ejercicio ya se dispone de la reclasificación realizada por un grupo de expertos nacionales en la segunda hoja del archivo *Reclass values* llamada *Bd\_values*. También se dispone ya de la reclasificación realizada por un grupo de expertos nacionales en la segunda hoja del archivo *Reclass values* llamada *Bd\_values* (véase la imagen abajo).

VALUE	CLASEFINAL	Bd value
1	Maleza y pasto con arboles	42
2	Bosque latifoliado abierto	13
3	Pasto manejado	41
4	Tacotal y pasto con maleza	30
5	Cultivos anuales	30
6	Tierra sujeta a inundación	10
7	Area humanizada	70
8	Agua	60
9	Bosque con palma	13
10	Bosque latifoliado cerrado	10
11	Centros poblados	70
12	Citricos	33
13	Bambu	13
14	Manglares	10
15	Bosque mixto	10
16	Bosque de pino cerrado	10
17	Bosque de pino abierto	12
18	Suelo sin vegetación	50
19	Plantaciones forestales (pinares)	11
20	Cacao/musaceas	33
21	Cafe con sombra	20
22	Caza de az car	31
23	Vegetacion arbustiva	13
24	Cultivos anuales bajo riego	31
25	Cafe sin sombra	11
26	Frutales	33
27	Huertos	32
28	Plantaciones forestales	11
29	Area volcanica	50
30	Musaceas	33

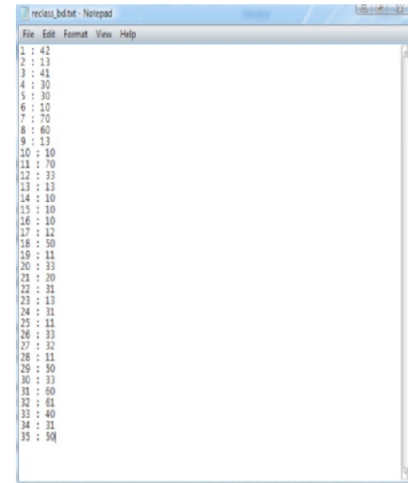
- Copie las columnas VALUE y Bd\_value aparte, en dos nuevas columnas (sin la columna CLASEFINAL entre ellas). Al pegar los valores, seleccione en la opción *Paste Special* la casilla **Values** para que los valores se peguen sin fórmula; en este caso los valores no tienen fórmulas, pero de todas formas puede irse habituando a realizar tal procedimiento (véase la imagen abajo).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	VALUE	CLASEFINAL	Bd_value				VALUE	Bd_value	
3	1	Maleza y pasto con arboles	42				1	42	
4	2	Bosque latifoliado abierto	13				2	13	
5	3	Pasto manejado	41				3	41	
6	4	Tacotal y pasto con maleza	30				4	30	
7	5	Cultivos anuales	30				5	30	
8	6	Tierra sujeta a inundación	10				6	10	
9	7	Area humanizada	70				7	70	
10	8	Agua	60				8	60	
11	9	Bosque con palma	13				9	13	
12	10	Bosque latifoliado cerrado	10				10	10	
13	11	Centros poblados	70				11	70	
14	12	Citricos	33				12	33	
15	13	Bambu	13				13	13	
16	14	Manglares	10				14	10	
17	15	Bosque mixto	10				15	10	
18	16	Bosque de pino cerrado	10				16	10	
19	17	Bosque de pino abierto	12				17	12	
20	18	Suelo sin vegetación	50				18	50	
21	19	Plantaciones forestales (pinar)	11				19	11	
22	20	Cacao/musaceas	33				20	33	
23	21	Cafe con sombra	20				21	20	
24	22	Casa de az-car	31				22	31	
25	23	Vegetacion arbustiva	13				23	13	
26	24	Cultivos anuales bajo riego	31				24	31	
27	25	Cafe sin sombra	11				25	11	
28	26	Frutales	33				26	33	
29	27	Huertos	32				27	32	
30	28	Plantaciones forestales	11				28	11	
31	29	Area volcanica	50				29	50	
32	30	Musaceas	33				30	33	

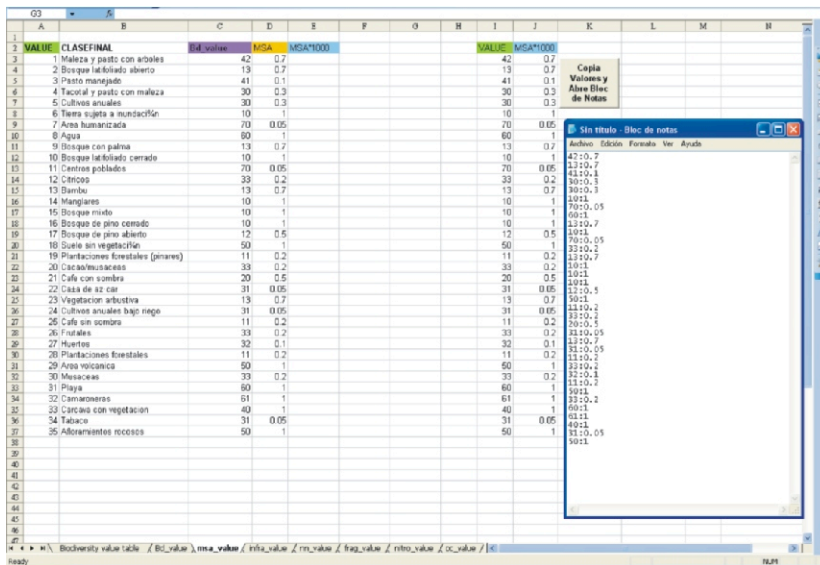
- Copie los valores de estas dos nuevas columnas en un editor de texto (como Notepad). Ahora, deberá sustituir el espacio entre los números pares por dos puntos (:). Para hacer esto en una sola operación, seleccione y copie el espacio entre los dos primeros valores (1 y 42). Vaya a **Edición/Reemplazar** y pegue el espacio en **Buscar (Find what)**. En la opción **Reemplazar con (Replace with)** coloque " : " (espacio, dos puntos, espacio), tal como se muestra en la figura de la derecha.



- Presione reemplazar en todo. La sustitución deberá verse de la manera que se muestra en la imagen a la derecha.
- Asegúrese de no presionar *Enter* después del último valor (observe en la imagen de la derecha que el cursor debe dejarse justo después del último número de la lista). Guarde el archivo con el nombre *reclass\_bd* en su directorio.



**NOTA:** Los cinco pasos anteriores pueden reducirse a sólo dos, de la siguiente manera: lo primero, es hacer click en el botón **“Copia Valores y Abre Bloc de Notas”**, luego, hacer click derecho y pegar en la ventana del Bloc de notas. Guarde el archivo en su directorio con el nombre *reclass\_bd* (véase la siguiente fotografía). Ahora continúe con el siguiente paso.



- Vaya al ArcGIS y con la opción del ArcToolbox *Reclass by ASCII file*, reclasifique el mapa *lu\_nic\_raster* con la tabla *reclass\_bd*. Para esto, vaya al menú **Spatial Analys Tools/Reclass/Reclass by ASCII file**. Defina la opción de la siguiente manera:  
 Input raster: Capa que desea convertir a *raster*. Es el insumo de la conversión;  
 Input ASCII remap file: Archivo ASCII (de texto) con los valores de reclasificación;  
 Output raster: El nombre y localización del *raster* que resulte.
- Presione Ok y guarde el output en su directorio con el nombre *lu\_nic\_bd*.
- El siguiente paso será convertir los valores de biodiversidad en valores de MSA. Esta reclasificación ya se ha realizado para las clases de biodiversidad de Nicaragua en la hoja *msa\_value* del archivo *Reclass\_values*.

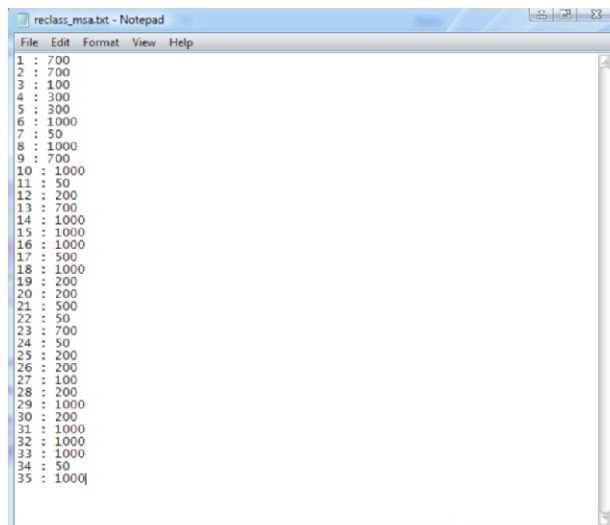


Como la opción *Reclass by ASCII file* no permite valores decimales (*Floating*), es necesario multiplicar los valores de MSA por una potencia de 10, hasta convertirlos en enteros. Una vez realizados los cálculos necesarios, se dividirán de nuevo los valores para convertirlos a decimales.

- En la columna llamada MSA\*1000 multiplique todos los valores de MSA por 1000. Copie las columnas VALUE y MSA\*1000 en dos nuevas columnas, sin fórmula, como lo hizo anteriormente (*Paste Special/Values*). Resultará una tabla como la de la imagen de abajo.

VALUE	CLASEFINAL	Bd_value	MSA	MSA*1000	VALUE	MSA*1000
1	Maleza y pasto con arboles	42	0.7	700	1	700
2	Bosque latifoliado abierto	13	0.7	700	2	700
3	Pasto manejado	41	0.1	100	3	100
4	Tacotal y pasto con maleza	30	0.3	300	4	300
5	Cultivos anuales	30	0.3	300	5	300
6	Tierra sujeta a inundación	10	1	1000	6	1000
7	Area humanizada	70	0.05	50	7	50
8	Agua	60	1	1000	8	1000
9	Bosque con palma	13	0.7	700	9	700
10	Bosque latifoliado cerrado	10	1	1000	10	1000
11	Centros poblados	70	0.05	50	11	50
12	Citricos	33	0.2	200	12	200
13	Bambu	13	0.7	700	13	700
14	Manglares	10	1	1000	14	1000
15	Bosque mixto	10	1	1000	15	1000
16	Bosque de pino cerrado	10	1	1000	16	1000
17	Bosque de pino abierto	12	0.5	500	17	500
18	Suelo sin vegetación	50	1	1000	18	1000
19	Plantaciones forestales (pinarés)	11	0.2	200	19	200
20	Cacao/musaceas	33	0.2	200	20	200
21	Cafe con sombra	20	0.5	500	21	500
22	Casa de az-car	31	0.05	50	22	50
23	Vegetacion arbustiva	13	0.7	700	23	700
24	Cultivos anuales bajo riego	31	0.05	50	24	50
25	Cafe sin sombra	11	0.2	200	25	200
26	Frutales	33	0.2	200	26	200
27	Huertos	32	0.1	100	27	100
28	Plantaciones forestales	11	0.2	200	28	200
29	Area volcanica	50	1	1000	29	1000
30	Musaceas	33	0.2	200	30	200

- En un editor de texto copie los valores de las dos columnas, sin fórmula, y cambie el espacio entre los números por dos puntos (:), tal como se explicó anteriormente. Asegúrese de no dar espacio después de los últimos valores. Guarde su archivo .txt con el nombre *reclass\_msa* (véase la imagen de la derecha).
- Vaya al ArcGIS y con **Reclass by ASCII file** reclasifique el mapa *lu\_nic\_bd* con la tabla *reclass\_msa*. Guarde el output en su directorio con el nombre *msa\_lu\_1000*.





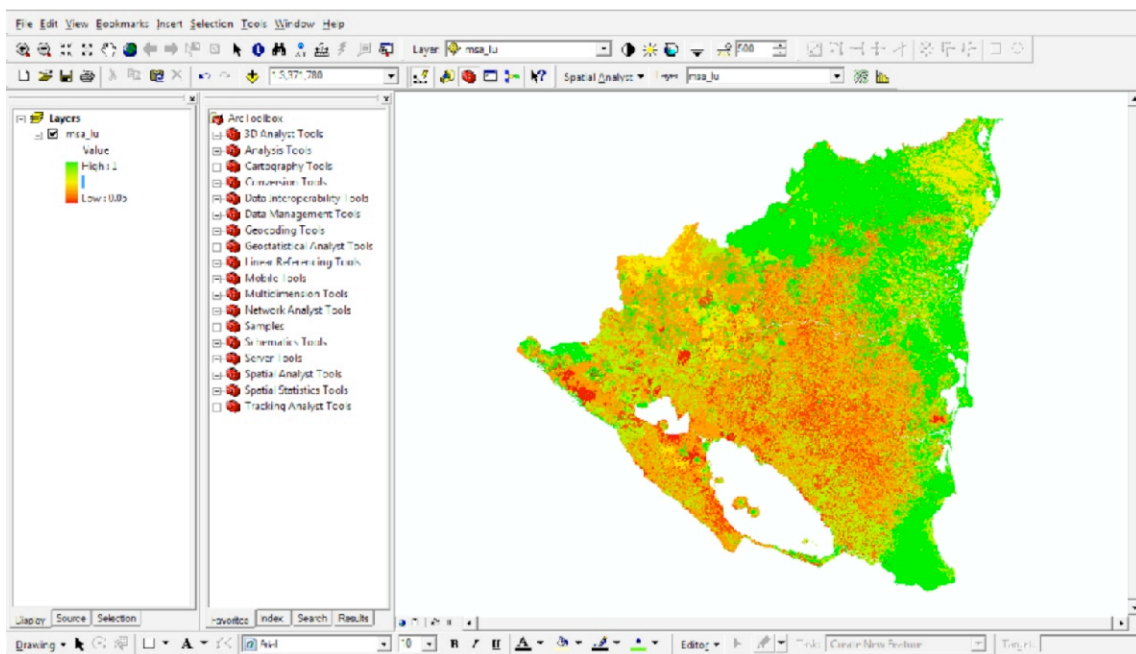


Para realizar el mapa de impacto final por uso/cobertura de suelo, sólo tiene que dividir los valores del mapa *msa\_lu\_1000* reclasificado entre 1000.0 (se coloca un decimal para que no redondee los valores, sino que los exprese como decimales).

- Utilizando el *Raster Calculator*, calcule:

$$msa\_lu = MSA\_LU\_1000 / 1000.0$$

El mapa *msa\_lu* es su mapa final de impacto en el MSA por uso de suelo. Verifique que los ríos y lagos tengan un valor de 0. Es aconsejable cambiar el formato de los mapas a un espectro de colores más adecuado. suele utilizarse la banda de rojo a verde, donde el rojo indica las áreas con bajo MSA y el verde las áreas con alto MSA.



### Impacto por infraestructura

En este ejercicio se examinará una forma de incorporar los efectos de las carreteras y caminos en la biodiversidad.

#### Datos de insumo:

Mapa *raster* local de uso/cobertura de suelo (*lu\_nic\_bd*)

Mapa shape carreteras (*rv\_nic*)

Mapa *raster* de densidad poblacional (*pop\_nic*)

Tabla de zonas de impactos por tipo de cobertura UNEP (*Infra\_impact.dbf*)

### Resultados intermedios:

*Raster* Natural / No Natural (*nn\_nic*)

*Raster* de buffer de carreteras (*buff100\_nic*)

### Resultado final:

*Raster* de impacto por infraestructura (*msa\_infra*)

En ArcGIS, el análisis del impacto de las carreteras en la biodiversidad se realiza fácilmente, sin tomar en cuenta la presión poblacional, creando una zona *buffer* en las carreteras, al seleccionar los píxeles que caen en cada celda, según la clasificación por distancias (ver sección GLOBIO - Conceptos) y luego se combinan estas selecciones individuales en un *raster* final.

No obstante, incluir el efecto de la población en el análisis requiere de un procedimiento más complicado. Para esto se ha desarrollado un script de infraestructura (*Infrastructure.py*) en Python, el cual permite realizar el cálculo del impacto de manera automática. Python es el lenguaje *script* de ArcGIS (lenguaje de programación) y según Van Rooij (2008), este *script* asume una relación logarítmica natural entre el MSA y la distancia a carreteras (en otras palabras, no visualiza solamente unas cuantas zonas de impacto sino que gradualmente incrementa el impacto con la distancia). Una vez que se haya generado el *buffer* de carreteras, se explicará cómo instalar y correr el *script*.

### Pasos:

- Abra una nueva vista en ArcMap, cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst*, tal como se explicó anteriormente; utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\2\_MSA\_I. Cargue ahora el *shape* de la red vial de Nicaragua *rv\_nic*. Verifique su proyección y corrija si es necesario.
- Con el campo o Field DESCRIP convierta a *raster* el *shape* de red vial y guarde su resultado con el nombre *rv\_nic\_raster*. Recuerde guardar sus archivos en el directorio en el que está trabajando.
- Para generar el buffer de carreteras con su mapa *rv\_nic\_raster*, vaya al menú **Spatial Analyst/Distance/Straight Line:**

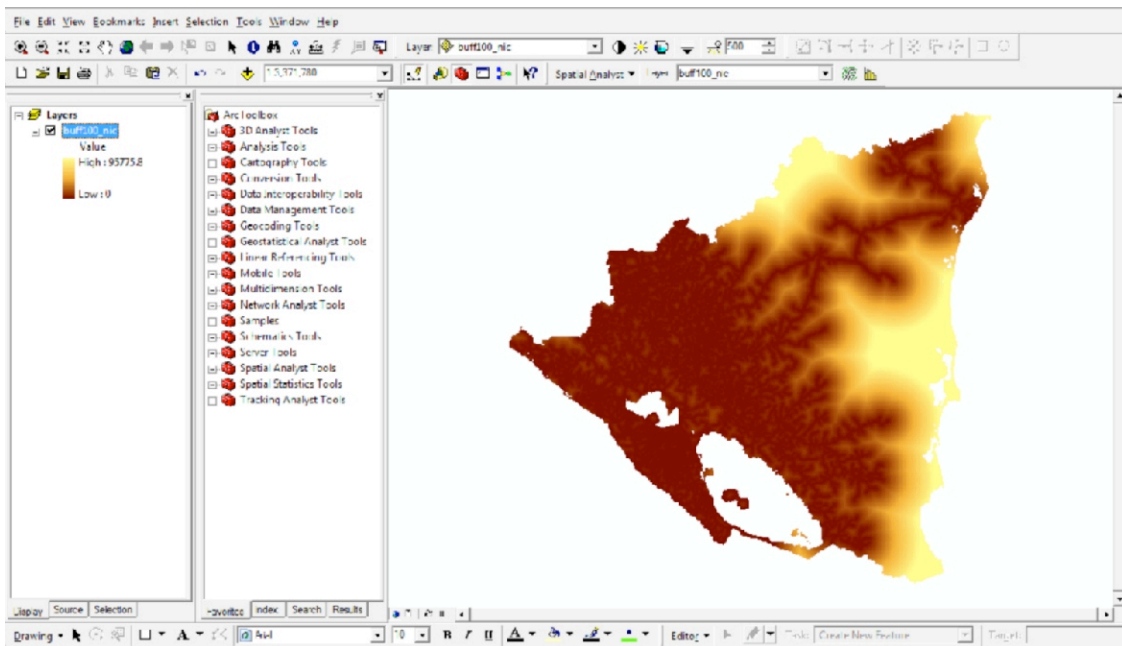
Distance to: *rv\_nic\_raster*

Maximun distance: 0

Output cell size: 100

Output *raster*: *buff100\_nic*

La resolución es convertida a 100\* 100m, esto para clasificar adecuadamente el efecto por infraestructura. Para visualizar mejor el *raster* de resultado, cambie la simbología de los valores de Classified a Stretched y elija una banda de color adecuada (véase el ejemplo en la imagen de la siguiente página).



Para el cálculo de impacto por infraestructura, en el modelo GLOBIO se han determinado clases genéricas de uso de suelo, según el efecto que sufre la biodiversidad por la presión de infraestructura. Es necesario reclasificar tales clases genéricas agregadas en las mismas. Los valores a utilizar son los siguientes:

- 0= urbano, agua y otros
- 1= tierras agrícolas
- 2= pastizales
- 3= bosque boreal
- 4= deciduo templado
- 5= bosque tropical
- 6= (semi) desierto
- 7= pantanos
- 8= tundra ártica
- 9= nieves/suelos áridos

Los valores que estén fuera del rango 1-9 (es decir, la clase 0) recibirán un valor de NODATA en el resultado.

- Agregue a la vista el *raster lu\_nic\_bd* que generó en el cálculo de MSA por uso de suelo. Exporte la tabla de atributos. Guarde el archivo en la carpeta Infra con el nombre *reclass\_infra*.

- Abra la tabla en Excel. Elimine la columna COUNT y utilice como guía la hoja *infra\_value* del archivo *Reclass\_values*, para así poder copiar el significado de los valores de la columna VALUE en una nueva columna.
- Copie por separado y sin fórmula, las columnas VALUE y los valores de Infraestructura, tal como lo hizo en el ejercicio anterior. Puede hacer la reclasificación tanto en su hoja *reclass\_infra* como en la misma hoja del archivo *Reclass\_values*. El objetivo es aprender que se debe exportar la tabla de atributos y con ella realizar la reclasificación (aunque en este ejercicio los valores de reclasificación ya estén dados).

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	VALUE	Clase	Infra		VALUE	Infra	
3	10	Primary forest	5		10	5	
4	11	Forest plantations	1		11	1	
5	12	Secondary forests	5		12	5	
6	13	Light used primary forests	5		13	5	
7	20	Agro forestry	1		20	1	
8	30	Extensive agriculture	1		30	1	
9	31	Irrigated intensive agriculture	1		31	1	
10	32	Intensive agriculture	1		32	1	
11	33	Perennials & bio fuels	1		33	1	
12	40	Natural grass & shrub lands	2		40	2	
13	41	Man made pastures	2		41	2	
14	42	Livestock grazing	2		42	2	
15	50	Natural Bare, rock & snow	9		50	9	
16	60	Natural inland water	0		60	0	
17	61	Artificial water	0		61	0	
18	70	Built up areas	0		70	0	
19							

*Nota: copiar a txt*

- Copie las columnas VALUE e Infra en un editor de texto, con el formato que ha usado anteriormente. Guarde el archivo con el nombre *reclass\_infra*.

```

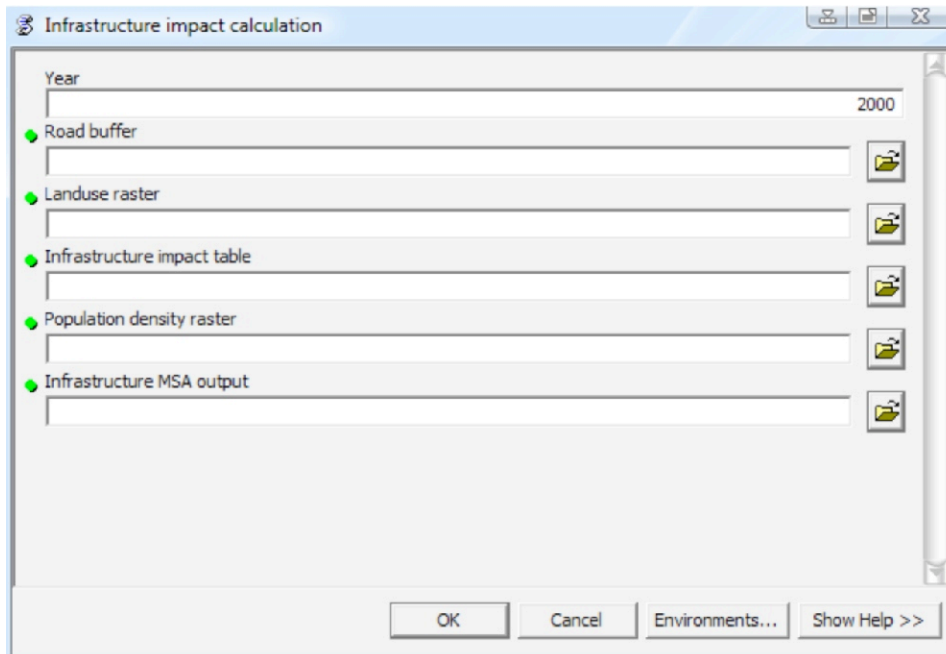
reclass_infra.txt - Notepad
File Edit Format View Help
10 : 5
11 : 1
12 : 5
13 : 5
20 : 1
30 : 1
31 : 1
32 : 1
33 : 1
40 : 2
41 : 2
42 : 2
50 : 9
60 : 0
61 : 0
70 : 0

```

- Reclassifique el *raster lu\_nic\_bd* con la opción *Reclass by ASCII File*, con la tabla *reclass\_infra*. Guarde el resultado bajo el nombre *lu\_nic\_infra*.

Como se explicó anteriormente, una herramienta de ArcToolbox se ha desarrollado para calcular el impacto por infraestructura, tomando en cuenta la presión poblacional. Para instalar esta herramienta siga el siguiente procedimiento:

- Copie la carpeta *Honduras\_bm*, del disco compacto a su disco C. Verifique que sólo los siguientes tres archivos *GLOBIO.tbx*, *Infra\_Impact.dbf* e *InfraImpact.py* se encuentren en el directorio *C:\Honduras\_bm\GIS\Infra*. No modifique este directorio ni el contenido de estas carpetas.
- Para instalar el directorio en ArcMap, presione el clic derecho en el menú del ArcToolbox y seleccione **Add/new/Toolbox**. Busque en el directorio *C:\Honduras\_bm\GIS\Infra* la herramienta *GLOBIO* y presione *Open*.
- Una vez instalada, observará que el toolbox *GLOBIO* se compone de la herramienta en sí y del script, con las instrucciones que lo acompañan. Haga clic derecho en el script **Infrastructure impact calculation** y vaya a *Edit*, seguidamente se desplegarán dos ventanas. En la ventana *InfraImpact.py* verifique que en la línea *# Load required toolboxes...* el directorio de su ArcGIS sea el correcto (p.e.: si su computadora está configurada en inglés, entonces cambió la ruta "*C:\Archivos de programa\*" por "*C:\Program Files\*"). Guarde los cambios que haya realizado.
- Vuelva al script en ArcMap. Presione clic derecho, vaya a **Properties / Source** y edite la ruta en donde el archivo está situado (*C:\Honduras\_bm\GIS\Infra*).
- Vuelva al ArcGIS y abra el script haciendo doble clic. Aparecerá la siguiente ventana:



En tal ventana deberá especificar los siguientes parámetros:

Parámetro	Descripción
Year	El año para el cual ese impacto es calculado. Debe ser un valor entre 2000 y 2050. Dado que el mapa de uso de suelos de Nicaragua es del año 2000, se usa ese valor.
Road buffer ( <i>buff100_nic</i> )	Un <i>raster</i> representando el buffer de carreteras (ya se explicaron los pasos para generarlo).
Landuse <i>raster</i> ( <i>lu_nic_infra</i> )	<i>Raster</i> con las clases de uso/cobertura de suelo, que corresponden a las nueve clases definidas para impacto de infraestructura en GLOBIO (ver atrás).
Infrastructure impact table ( <i>Infra_Impact.dbf</i> )	Incluida en la carpeta Honduras_bm. La tabla contiene las constantes para el procedimiento del análisis. Localice el archivo en el directorio C:\Honduras_bm\GIS\Infra.
Population density <i>raster</i> ( <i>pop_nic</i> )	<i>Raster</i> con el número de personas por kilómetro cuadrado. Se encuentra en la carpeta 2_MSA_I
Infrastructure MSA Output ( <i>msa_infra_all</i> )	Éste es el resultado del análisis: el MSA debido al impacto de infraestructura. Especificar ubicación y nombre apropiado.

- Antes de presionar Ok, vaya al menú **Environments/General Settings** y defina en *Current Workspace* el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\Infra. Ahora sí puede dar Ok.

**Nota:** Si debe volver a ejecutar la herramienta, primero tendrá que regresar al directorio C:\Honduras\_ bm\GIS\Infra y eliminar los archivos temporales que se hayan generado. Esta carpeta sólo debe contener: la herramienta (GloBio), la tabla dbf y el script al inicio de cada ejecución. De lo contrario se producirá un error.

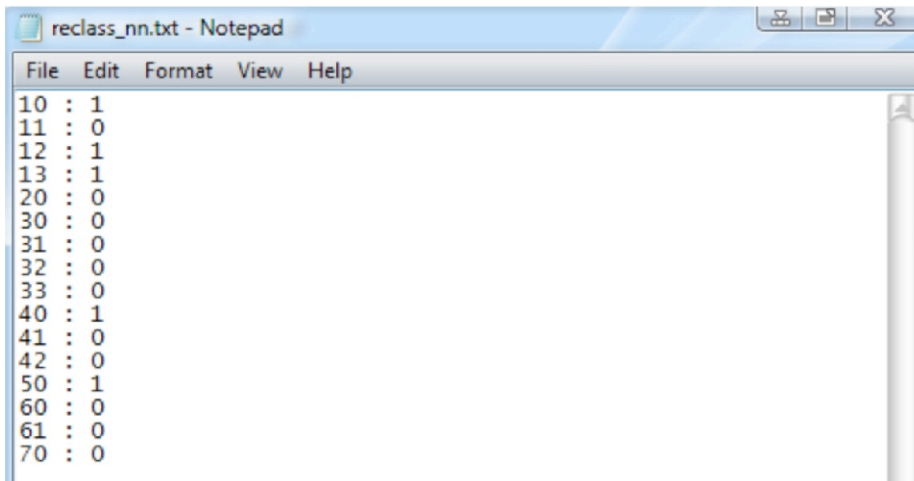
El resultado *msa\_infra\_all* es un mapa con las zonas de impacto al MSA alrededor de las carreteras. Sin embargo, el impacto que es de nuestro interés es únicamente el de carreteras situadas en zonas naturales. El valor MSA por uso de suelo para las zonas no naturales (las ocupadas para agricultura, pastos cultivados o usos urbanos) ya incluye el impacto de las carreteras, por lo que sería redundante calcularlo nuevamente. Para el ejercicio de Nicaragua, las siguientes tres clases de uso de suelo del mapa *lu\_nic\_bd* son clasificadas como naturales: bosque primario, bosque secundario y bosque primario ligeramente intervenido.

Para integrar este criterio al mapa de impacto por infraestructura es necesario generar primero un mapa donde las clases de biodiversidad se clasifiquen en "naturales" y "no naturales". Deberá generarse un archivo ASCII, como los anteriores, para hacer la reclasificación:

- En una nueva hoja de Excel copie la columna VALUE del mapa *lu\_nic\_bd* que ya utilizó en el *reclass* de infraestructura y agregue una columna con los valores de Natural/No Natural. Dé a cada clase natural el valor de 1 y a las demás clases no naturales el valor de 0. En la hoja *nn\_value* del archivo *Reclass\_values* se encuentran los valores por si prefiere copiarlos y pegarlos directamente (véase la imagen de abajo).

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	VALUE	Clase	N_NN		VALUE	N_NN	
3	10	Primary forest	1		10	1	
4	11	Forest plantations	0		11	0	
5	12	Secondary forests	1		12	1	
6	13	Light used primary forests	1		13	1	
7	20	Agro forestry	0		20	0	
8	30	Extensive agriculture	0		30	0	
9	31	Irrigated intensive agriculture	0		31	0	
10	32	Intensive agriculture	0		32	0	
11	33	Perennials & bio fuels	0		33	0	
12	40	Natural grass & shrub lands	1		40	1	
13	41	Man made pastures	0		41	0	
14	42	Livestock grazing	0		42	0	
15	50	Natural Bare, rock & snow	1		50	1	
16	60	Natural inland water	0		60	0	
17	61	Artificial water	0		61	0	
18	70	Built up areas	0		70	0	
19					Nota: copiar a txt		

- Copie las dos columnas en un editor de texto y dele el formato que ha utilizado en las reclasificaciones anteriores. Guarde el archivo con el nombre *reclass\_nn* (véase la siguiente imagen).





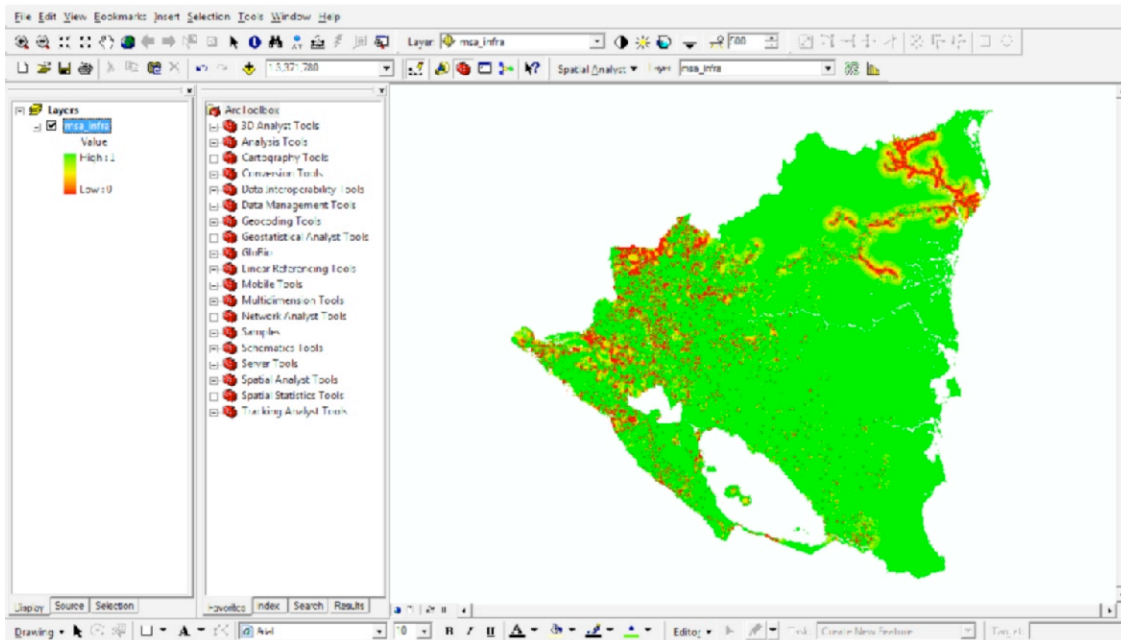
- Utilice la opción de **Reclass by ASCII** para reclasificar el mapa *lu\_nic\_bd* con los valores de la tabla *reclass\_nn*. Nombre al resultado *nn\_nic*.

Para generar el mapa final de MSA por infraestructura, es necesario mostrar los valores del mapa *msa\_infra\_all*, sólo en las áreas naturales.

- Utilice el *Raster Calculator* con la función condicional:

$$\mathbf{msa\_infra} = \text{Con}([nn\_nic] == 1, [msa\_infra\_all], 1)$$

Esta función asigna los valores del mapa *msa\_infra\_all* a las áreas naturales y el valor 1 a las áreas no naturales (lo cual indica que no sufren impacto por infraestructura; recuerde que como el MSA total es la multiplicación de los cinco mapas de impacto, un valor de 1 en un mapa no afectaría el resultado final de la multiplicación). Su resultado ***msa\_infra*** es el mapa final de impacto al MSA por Infraestructura. Como se especificó en la máscara, como tamaño de celda predeterminado, el *Raster Calculator* dará los resultados en píxeles de 500 \* 500m.



## **Impacto por fragmentación**

En esta sección del ejercicio se explicará cómo realizar el cálculo del impacto al MSA por fragmentación.

### **Datos de insumo:**

- Mapa shape carreteras (*rv\_nic*)
- Mapa de Natural / No Natural (*nn\_nic*)
- Tabla de impacto por fragmentación (*Fragmentation.xls*)

**Resultados intermedios:**

Mapa de Natural / No Natural en resolución de 100m (*nn100\_nic*)

Mapa *raster* de carreteras en áreas naturales (*rv\_nn\_nic*)

Mapa de áreas naturales fragmentadas (*area\_frag\_nic*)

**Resultado final:**

Mapa de impacto por fragmentación (*msa\_frag*)

**Pasos:**

- Abra una nueva vista en ArcMap. Configure su *Spatial Analyst* como se explicó anteriormente y utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\3\_MSA\_F. Cargue y configure la máscara. Defina su tamaño de celda en 100m.
- Cargue ahora el shape de la red vial de Nicaragua *rv\_nic*. Verifique su proyección y corrija si es necesario. Abra la tabla de atributos y agregue un campo (*Options/Add Field*). Defínalo de la siguiente manera:

Name: GRID

Type: Short Integer

Presione el clic derecho sobre el encabezado de la columna GRID y vaya a *Field Calculator*. Dé GRID = 1 y Ok.

- Convierta el shape *rv\_nic* a *raster* con el campo o Field GRID y un tamaño de celda de 100m y guarde su resultado con el nombre *rv\_nic\_ras100*. Recuerde siempre guardar sus archivos en el directorio en el cual está trabajando.

Abra una nueva vista y configure su ***Spatial Analyst***. Esta vez no será necesario configurar la máscara porque se trabajará con una resolución 100\*100. Tendrá que cambiar la resolución del mapa Natural/No Natural a esta resolución.

- En el menú ***Raster/Raster Processing/Resample*** del Data Management Toolbox, defina:

Input Raster: *nn\_nic*

Output Raster: *nn100\_nic*

Output Cell Size: 100

Resampling Technique: Nearest

Ahora, deberá sobreponer el mapa *raster* de carreteras con el mapa Natural/No Natural (ambos en una resolución de 100). Dado que el *grid* de carretera contiene valores nulos en toda el área que no es carretera, será necesario modificarlos para poder realizar la sobreposición.

- Utilice el *Raster Calculator* con la siguiente fórmula:

$$rv\_nn\_nic = \text{con}(\text{IsNull}([rv\_nic\_ras100]), 1, 0) * [nn100\_nic]$$

Esta operación valora con 1 todos los valores nulos del *raster* de carreteras (zonas donde no hay carreteras) y valora con 0 a las carreteras. Después, se debe multiplicar el mapa de carreteras

por el mapa de Natural/No Natural. Así, las carreteras mantendrán su valor 0 y las áreas se clasificarán en Naturales y No Naturales.

Para generar el mapa de áreas naturales fragmentadas se construirá primero un mapa de clusters:

- Seleccione la función *Regiongroup* en el menú **ArcToolBox\Spatial Analyst Tools\Generalization**. Defina de la siguiente manera:

Input raster:	<i>rv_nn_nic</i>
Output Raster:	<i>clusters_nic</i>
Number of neighbours:	Eight
Method:	Within
Excluded value:	0

Esta función observa la conectividad de las celdas. Cada grupo o *cluster* de celdas de área natural que se encuentre aislado por otros de diferente valor (carreteras o áreas no naturales) recibe una numeración única. El primer clúster recibe el valor de 1, el segundo de 2 y así sucesivamente. Para reclasificar los valores de los *clusters* en su valor de área, utilice la función *count* del *Raster Calculator*.

- En el *Raster Calculator* defina la función:

*area\_frag\_nic* = [*clusters\_nic*].count / 100

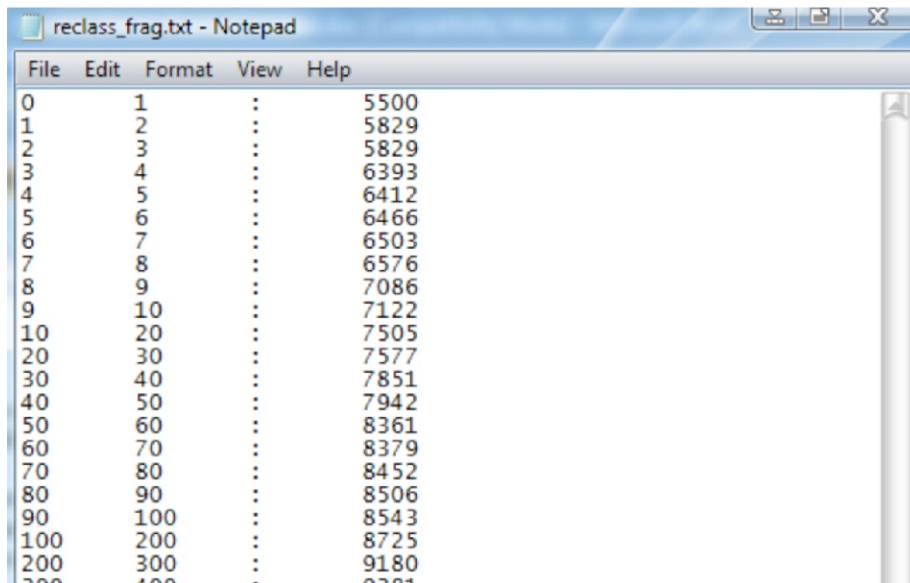
En este mapa, cada pixel tendrá el valor del área del clúster al que pertenece en unidades de km<sup>2</sup> (porque se divide entre 100). Será por lo tanto, el mapa de las áreas naturales fragmentadas. Recuerde que las carreteras siguen manteniendo un valor de 0.

Para generar el mapa de impacto por fragmentación, deberá reclasificar los valores de los *clusters* de áreas naturales fragmentadas por valores de impacto en biodiversidad (valores MSA). Recuerde que la intensidad del impacto por fragmentación está en función del área aislada, es decir, del área de cada *cluster*. Entonces, puede construir una tabla ASCII con los rangos de área y el impacto por fragmentación asociado a cada uno. Utilice la hoja **frag\_value** del archivo *Reclass\_values.xls*.

- Vaya a la hoja *frag\_value*. Como se mencionó anteriormente, el comando *Reclassify* no funciona con valores decimales (*floating*), sólo trabaja con enteros (*integer*). Para convertir los valores MSA a enteros multiplique los valores de la columna *MSA\_frag* por 10,000. Como ya se sabe, es necesario copiar los valores aparte, sin las fórmulas antes de pegar en Notepad. Copie la columna de los rangos y la columna de *MSA\*10000*. Intercale entre los rangos y los valores de MSA en una columna con dos puntos, como en la columna j que se muestra en la imagen de la siguiente página.

Área (rango en km2)		MSA_frag	MSA_frag*10000
0	1	0.5500000000	5500
1	2	0.5829000000	5829
2	3	0.5829000000	5829
3	4	0.6393000000	6393
4	5	0.6412000000	6412
5	6	0.6466000000	6466
6	7	0.6503000000	6503
7	8	0.6576000000	6576
8	9	0.7086000000	7086
9	10	0.7122000000	7122
10	20	0.7505000000	7505
20	30	0.7577000000	7577
30	40	0.7851000000	7851
40	50	0.7942000000	7942
50	60	0.8361000000	8361
60	70	0.8379000000	8379
70	80	0.8452000000	8452
80	90	0.8506000000	8506
90	100	0.8543000000	8543
100	200	0.8725000000	8725
200	300	0.9180000000	9180
300	400	0.9381000000	9381
400	500	0.9417000000	9417
500	600	0.9454000000	9454
600	700	0.9563000000	9563
700	800	0.9563000000	9563

- Copie las cuatro columnas en Notepad. Al pegar, verifique que haya espacios entre cada columna, antes y después del signo de dos puntos. Guarde el archivo con el nombre de *reclass\_frag*.



- Vaya al ArcGIS y con **Reclass by ASCII file** reclasifique el mapa *area\_frag\_nic* con la tabla *reclass\_frag*. Guarde el resultado en su directorio con el nombre *msa\_frag10000*.

Una vez realizada la reclasificación, debe asignarse a todas las áreas no naturales el valor de 1, puesto que en ellas no hay impacto por fragmentación. Además, debe dividirse el valor del MSA entre 10000.0 para obtener el valor correcto en decimales.

- Defina en el *Raster Calculator* la fórmula siguiente:

$$msa\_frag\_x100 = \text{con}([nn100\_nic] = 1, [msa\_frag10000]/10000.0, 1)$$

- Para obtener el mapa final, cambie la resolución a 500 \* 500m. Utilice la función *Aggregate* en el menú **Spatial Analyst Toolbox\Generalization**, definiéndola así:

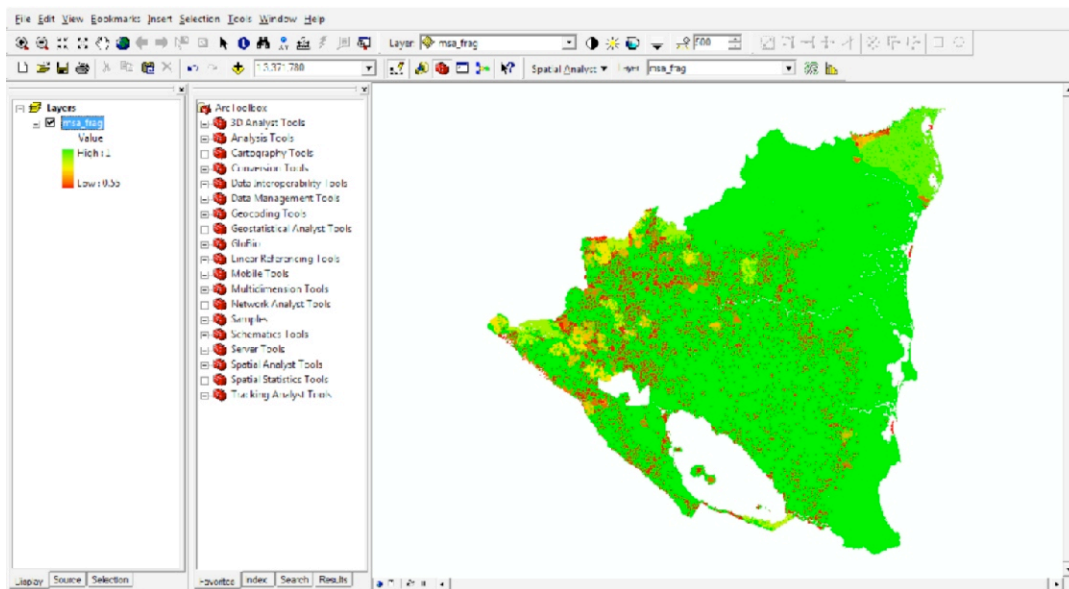
Input raster: *msa\_frag\_x100*

Output raster: *msa\_frag*

Cell factor: 5

Aggregation technique: MEAN

El mapa final de impacto por fragmentación se verá de la siguiente manera:



## Impacto por deposición de Nitrógeno

Debido a que el impacto por deposición de Nitrógeno en un país como Nicaragua no es significativo (es decir, que la deposición de dicho elemento no sobrepasa la carga crítica tolerable por los ecosistemas), no es necesario realizar el cálculo del impacto. Simplemente se puede elaborar un archivo con valor de 1 en todos los píxeles, demostrando que la deposición de Nitrógeno no tiene impacto en el MSA. Sin embargo, para fines del ejercicio se explicará cómo realizar este cálculo, a partir de mapas mundiales de deposición y carga crítica de Nitrógeno.

**Datos de insumo:**

- Mapa *raster* local de uso/cobertura de suelo (*lu\_nic\_bd*)
- Mapa de deposición de Nitrógeno (*ndep\_ej*)
- Mapa de carga crítica de Nitrógeno (*ccrit\_nic*)
- Tabla de ecuaciones de regresión de exceso o sobrecarga de Nitrógeno (hoja *nitro\_value* del archivo *Reclass values.xls*)

**Nota:** El mapa de deposición de Nitrógeno *ndep\_ej*, es una modificación de la medida verdadera de deposición de Nitrógeno para Nicaragua *ndep\_nic*. Los valores han sido modificados multiplicándolos por 10, de manera que muestre un exceso artificial de Nitrógeno y el ejercicio tenga sentido. Con los valores originales no habría exceso de Nitrógeno ni impacto en el MSA.

**Resultados intermedios:**

- Mapa *raster* del exceso de Nitrógeno (*excess*)
- Mapa del impacto de Nitrógeno en bosques (*imp\_bosq*)
- Mapa del impacto de Nitrógeno en pastizales (*imp\_past*)

**Resultado final:**

- Mapa del impacto por Nitrógeno (*msa\_ndep\_ej*)

**Pasos:**

- Abra una nueva vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst* como se explicó anteriormente. Utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\4\_MSA\_N.  
Dado que las áreas que reciben impacto por deposición de Nitrógeno son las de bosques y pastizales (recuerde que en las agrícolas la deposición de Nitrógeno es mínima en comparación con el efecto de los fertilizantes), el primer paso será reclasificar los usos de suelo del mapa *lu\_nic\_bd* en bosques y pastizales en dos mapas separados, para lo cual necesitará dos tablas ASCII de reclasificación:

- Construya las dos tablas en Excel. Reclasifique los valores del mapa *lu\_nic\_bd* dos veces, a una se le asigna 1 a las clases de bosque y 0 a las demás, a otra se le asigna 1 a las clases de pastizales y 0 a las demás.
- Copie los valores en dos archivos txt, con el formato que ya conoce. Nombre a los archivos *reclass\_bosq* y *reclass\_past* respectivamente.

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Clase	VALUE	Pasto		VALUE	Bosque
3	Primary forest	10	0		10	1
4	Forest plantations	11	0		11	0
5	Secondary forests	12	0		12	1
6	Light used primary forests	13	0		13	1
7	Agro forestry	20	0		20	0
8	Extensive agriculture	30	0		30	0
9	Irrigated intensive agriculture	31	0		31	0
10	Intensive agriculture	32	0		32	0
11	Perennials & bio fuels	33	0		33	0
12	Natural grass & shrub lands	40	1		40	0
13	Man made pastures	41	1		41	0
14	Livestock grazing	42	0		42	0
15	Natural Bare, rock & snow	50	0		50	0
16	Natural inland water	60	0		60	0
17	Artificial water	61	0		61	0
18	Built up areas	70	0		70	0
19		Nota: copiar a txt			Nota: copiar a txt	
20						



- Con la opción **Reclass by ASCII file** en el ArcGIS, reclasifique el mapa *lu\_nic\_bd* con cada una de las tablas anteriores, para obtener un mapa de bosque y un mapa de pastizales. Guarde los resultados en su directorio con los nombres *bosq\_nic* y *past\_nic*.

Ahora, debe generar el mapa de exceso de Nitrógeno. Éste se genera como el cálculo de la diferencia entre el mapa de deposición *ndep\_nic* y el mapa de carga crítica de Nitrógeno *ccrit\_nic*. Adicionalmente, dado que los valores de estos mapas están expresados en g/km<sup>2</sup>, deberá incluir en sus cálculos una conversión a kg/km<sup>2</sup>, dividiendo entre 1000.0 (permitiendo valores decimales).

- Introduzca en el **Raster calculator** la siguiente fórmula:

$$excess = \text{con}([ndep\_ej] < [ccrit\_nic], 0, ([ndep\_ej] - [ccrit\_nic]) / 1000.0)$$

Con esta fórmula, el mapa resultante contiene los valores de exceso de Nitrógeno convertidos a kg/km<sup>2</sup>, y a los pixeles que tenían una deposición menor a su carga crítica les fue asignado el valor de 0, es decir, que no tienen exceso. Puede comprobar que si hubiera realizado esta operación con el mapa original de deposición de Nicaragua *ndep\_nic* el resultado tendría valores 0 en todas las celdas.

El siguiente paso consiste en utilizar las ecuaciones de la hoja *nitro\_value* del archivo *Reclass\_values* para calcular el impacto por deposición de Nitrógeno en los bosques y pastizales. Para bosques tropicales no se conoce una relación exacta, pero será cercana a la relación del bosque de coníferas boreal. Por lo tanto, esa será la ecuación utilizada en los bosques tropicales.

- Utilice en el *Raster calculator* las ecuaciones de regresión para generar los mapas de impacto:

$$imp\_bosq = \text{con}([bosq\_nic] > 0, 0.8 - 0.14 * \ln([excess]), 0)$$

$$imp\_past = \text{con}([past\_nic] > 0, 0.8 - 0.08 * \ln([excess]), 0)$$

Para generar el mapa de impacto total por Nitrógeno simplemente necesita combinar el mapa de impacto por Nitrógeno en bosques *imp\_bosq* con el mapa de impacto por Nitrógeno en pastizales *imp\_past*. Dado que ningún pixel es bosque ni pastizal a la vez, el impacto total puede generarse sumando los dos mapas.

- En el *Raster calculator* introduzca la ecuación:

$$msa\_n = \text{con}([imp\_bosq] + [imp\_past] > 1, 1, [imp\_bosq] + [imp\_past])$$

Esta fórmula condicional, además de sumar los mapas, redondea a 1 el valor de MSA de los pixeles, donde la suma de los dos mapas fue mayor que 1 (recuerde que los valores de MSA sólo pueden oscilar entre 0 y 1).

También reclasifique los valores nulos en 1 ó ningún impacto.

- En el *Raster calculator* introduzca la ecuación:

$$msa\_ndep\_ej = \text{con}(!\text{null}([msa\_n]), 1, [msa\_n])$$

El resultado ***msa\_ndep\_ej*** es el mapa final de impacto por deposición de Nitrógeno. **Es importante recordar** que en el cálculo del MSA total no se utilizará el mapa calculado en este ejercicio, pues los valores de deposición de Nitrógeno habían sido alterados. Utilice el mapa ***msa\_ndep*** ubicado en la carpeta 4\_MSA\_N.



## Impacto por cambio climático

En este ejercicio se estimará el impacto al MSA por el cambio climático, a partir del mapa mundial de eco regiones. Es útil aprender a generar un mapa nacional a partir de uno mundial, particularmente porque muchos países pequeños no cuentan con sus propios levantamientos de información y cierta de la misma sólo está disponible en mapas mundiales. Los pasos descritos a continuación para generar el mapa nacional a partir del mundial de eco regiones son los mismos que se utilizaron para generar los mapas nacionales de deposición y carga crítica de Nitrógeno, del ejercicio anterior.

### Datos de insumo:

Mapa *shape* de eco regiones (*ecoreg\_world*)

Tabla de pendientes de regresión por eco regiones o biomas (Hoja *cc\_value* del archivo *Reclass\_values.xls*)

Tabla de cambio anual de temperatura (Hoja *cc\_value* del archivo *Reclass\_value.xls*)

### Resultados intermedios:

Mapa *raster* de eco regiones de país (*ecoreg\_nic*)

### Resultado final:

Mapa de impacto por cambio climático (*msa\_cc*)

### Pasos:

- Agregue a una nueva vista el ***shape ecoreg\_world*** que se encuentra en la carpeta 4\_MSA\_CC.
- Cree en el ArcCatalog un nuevo *shape* de polígono. Configúrelo de la siguiente forma:  
Name: corte  
Feature type: Polygon  
Coordinate System: *Edit/Import* Importe las coordenadas del *shape ecoreg\_world*
- Agregue a la vista el *shape corte* y edite el *shape* creando un cuadrado que abarque el área de Nicaragua. Guarde su edición (si necesita el procedimiento sobre cómo editar un *shape* en ArcGIS consulte la opción *Starting and stopping and edit session* en el menú **Help** del ArcGIS).
- Para realizar la extracción, en el ArcToolbox vaya a *Analysis Tool/Extract/Clip*. Defínalo así:  
Input Features: *ecoreg\_world*  
Clip Features: *corte*  
Output Features Class: *clip\_nic*  
Guarde el archivo en el directorio: C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\4\_MSA\_CC
- Cambie la proyección a WGS\_1984\_UTM\_Zone\_16N y guarde con el nombre de *clip\_nic\_proj*.
- Abra una nueva vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente, utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\4\_MSA\_CC. Cargue ahora el *shape* proyectado *clip\_nic\_proj*.

- Para obtener el mapa de eco regiones de Nicaragua realice una extracción del corte con el *shape* de la máscara con la opción **Analyst Tool/Extract/Clip** del ArcToolbox. Cargue el *shape* *Limite\_nacional*. Defina los parámetros de la siguiente manera:

Input Features: *clip\_nic\_proj*

Clip Features: *Limite\_nacional*

Output Features Class: *er\_nic*

Guarde en su directorio de trabajo

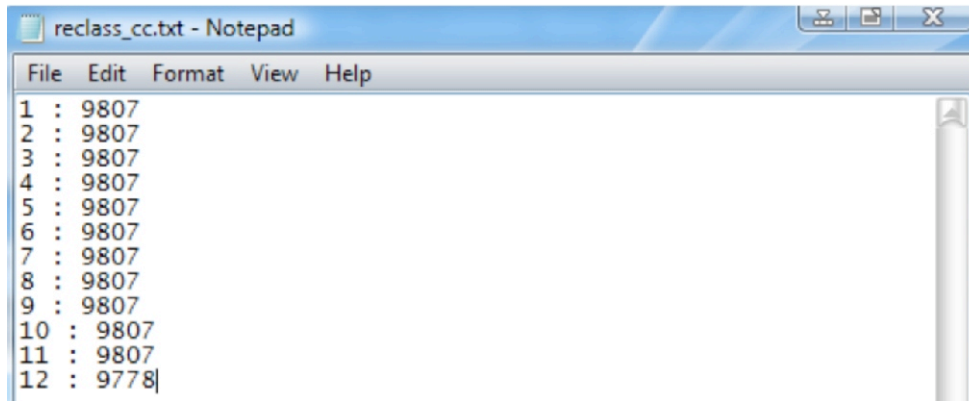
- Convierta el *shape er\_nic* a *raster* con el Field ECO\_NAME con un tamaño de celda de 500 y guarde su resultado con el nombre *er\_nic\_raster*. Guarde en su directorio de trabajo.

Ahora necesita generar la tabla ASCII que le permita reclasificar los ecosistemas según sus valores de MSA.

- Exporte la tabla de atributos del archivo *er\_nic\_raster* y ábrala en Excel. Elimine la columna COUNT y agregue las siguientes columnas:  $\Delta t^{\circ} 2000$ , Pendiente  $^{\circ}C$  y MSA\_cc. Como se explicó en la sección teórica, el MSA por impacto del cambio climático se calcula según la fórmula  $MSA_{cc} = 1 \text{ Pendiente} * \Delta t$ .
- El  $\Delta t^{\circ} 2000$  es el incremento de temperatura que se experimentó el año en que se hizo el mapa de uso de suelos. Encuentre su valor en la tabla *Temp change: OECD Baseline scenario*, en la hoja *cc\_value*. Coloque ese valor en la columna  $\Delta t^{\circ} 2000$ , el cual será el mismo para todos los biomas.
- La pendiente  $^{\circ}C$  sí dependerá del bioma. Realice una reclasificación, comparando los ECO\_NAME con los biomas de la tabla *Slope per Biome*, también de la hoja *cc\_value*. Como ha hecho anteriormente, convierta a enteros los valores MSA\_cc. Inserte una nueva columna y multiplique los valores por 10000. Copie aparte las columnas VALUE y MSA\*10000, sin fórmulas (ejemplo en la imagen abajo).

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Ecoregion code	ECO_NAME	$\Delta t^{\circ} 2000$	Slope $^{\circ}C$	MSAcc	MSA*10000	
3		1 Central American montane forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
4		2 Mosquita-Nicaraguan Caribbean Coast mangroves	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
5		3 Gulf of Fonseca mangroves	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
6		4 Central American pine-oak forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
7		5 Southern Dry Pacific Coast mangroves	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
8		6 Central American Atlantic moist forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
9		7 Costa Rican seasonal moist forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
10		8 Isthmian-Atlantic moist forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
11		9 Lake	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
12		10 Miskito pine forests	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
13		11 Rio Negro-Rio San Juan mangroves	0.569	0.034	0.980654	9806.54	
14		12 Central American dry forests	0.569	0.039	0.977809	9778.09	
15							
16							
17	Ecoregion code	MSA*10000					
18	1	9807					
19	2	9807					
20	3	9807					
21	4	9807					
22	5	9807					
23	6	9807					
24	7	9807					
25	8	9807					
26	9	9807					
27	10	9807					
28	11	9807					
29	12	9778					

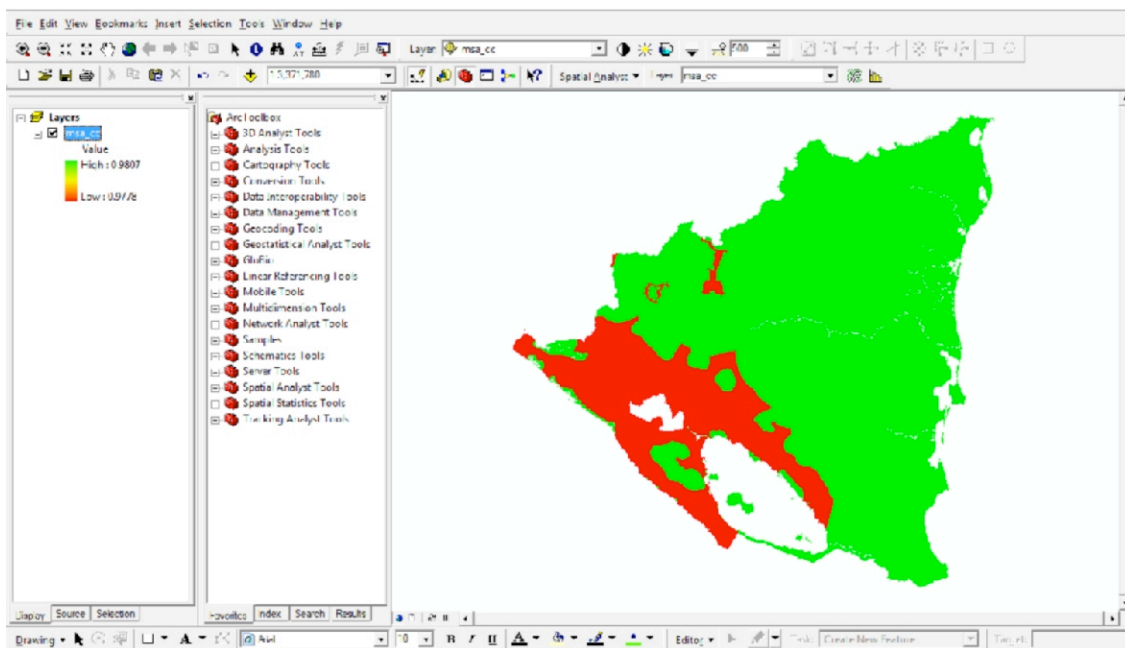
- Copie las dos columnas en un archivo de texto, como lo ha hecho en las reclasificaciones anteriores (con espacio, dos puntos y espacio entre los dos valores). Llame al archivo *reclass\_cc*.



- Vaya al ArcGis y con *Reclass by ASCII file* reclasifique el mapa *ec\_nic\_raster* con la tabla *reclass\_cc*. Guarde el resultado en su directorio con el nombre *msa\_cc1000*.
- Para obtener los valores de MSA correctos, divida el mapa *msa\_cc1000* entre 10000.0. En el *Raster Calculator* defina la fórmula:

$$msa\_cc = [msa\_cc1000] / 10000.0$$

Como resultado se obtendrá un mapa *raster* que indica el impacto del cambio climático en cada pixel:



Cabe hacer notar que hay un detalle sobre la interpretación del resultado gráfico de este mapa de impacto y es que como el mismo se ha derivado de predicciones para ecosistemas globales, los efectos que muestra no son tan precisos para un país pequeño. Se observa que, aunque la banda de colores va desde muy rojo hasta muy verde, el rango de los valores no es tan amplio.

### **Impacto total en el MSA**

El mapa de impacto total en el MSA se calcula multiplicando los datos resultantes de los cinco mapas de MSA que se han producido (uso de suelo, infraestructura, fragmentación, deposición de Nitrógeno y cambio climático).

#### **Datos de insumo:**

- Mapa de impacto por uso de suelo (*msa\_lu*)
- Mapa de impacto por infraestructura (*msa\_infra*)
- Mapa de impacto por fragmentación (*msa\_frag*)
- Mapa de impacto por deposición de Nitrógeno (*msa\_ndep*)
- Mapa de impacto por cambio climático (*msa\_cc*)

#### **Resultado final:**

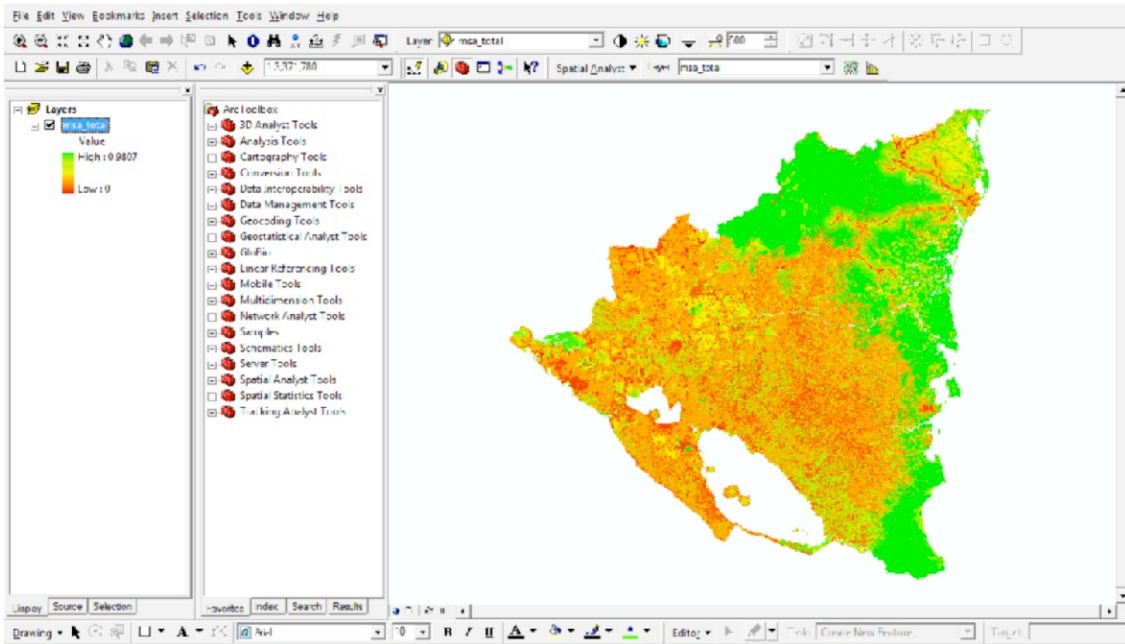
- Mapa MSA de Nicaragua de 2000 (*msa\_tot*)

#### **Pasos:**

- Copie los archivos de MSA finales de cada uno de los cinco impactos en su carpeta 6\_MSA\_TOTAL, utilizando el ArcCatalog.
- Abra una nueva vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente, utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\6\_MSA\_TOTAL. Cargue ahora los cinco mapas de MSA. Verifique que los valores de MSA en todos los mapas se encuentren entre 0 y 1. Recuerde que un valor nulo ó 0 en cualquiera de los mapas dará como resultado un valor nulo ó 0 en el mapa final. Los cuerpos de agua y el área fuera del mapa deben tener valor nulo y coincidir en todos los mapas y la máscara.
- Utilizando el *Raster calculator*, multiplique los mapas *raster* de impacto como en la siguiente fórmula:

$$msa_{tot} = msa_{lu} * msa_{infra} * msa_{frag} * msa_{ndep} * msa_{cc}$$

El resultado será el mapa final de impacto la biodiversidad o MSA para Nicaragua en el año 2000 y deberá verse de la siguiente manera:



**Cálculo del MSA remanente y desagregación por presión y unidad**

El mapa *msa\_tot* generado en el ejercicio anterior, representa el valor de MSA de cada uno de los píxeles. Sin embargo, es necesario presentar el valor de MSA o MSA remanente del área total del país, como una cifra agregada. También es necesario desagregar este indicador de acuerdo con su composición por presiones, es decir, explicar cuál es el porcentaje de MSA remanente y cuánto de la pérdida se atribuye a cada una de las cinco presiones. De la misma forma, se puede hacer el cálculo del MSA total y la desagregación para subunidades administrativas de interés, tales como las áreas protegidas, las provincias o los departamentos.

Calcular el MSA remanente de un país implica ponderar los valores de MSA de todos los píxeles, de acuerdo con el porcentaje del área total que ocupan. Por otro lado, desagregar el MSA requiere de un cálculo más complejo, puesto que el MSA total resulta de una multiplicación de decimales y se necesita un factor de corrección para calcular las participaciones de las presiones como parte de la unidad.

Para comprobar este punto, observe el siguiente ejemplo, tomado de Van Rooij (2008):

Si	$MSA_{LU}$	=	0.80
	$MSA_I$	=	0.95
	$MSA_F$	=	0.99
	$MSA_N$	=	0.97
	$MSA_{CC}$	=	0.99
Entonces	$MSA_{remanente}$	=	0.7225

Se podría calcular la pérdida de MSA como  $Pérdida = 1 - MSA$ . Entonces:

$$Pérdida = 1 - 0.7225 = 0.2775$$

Sin embargo, sumando las cinco pérdidas individuales tendríamos:

$$Pérdida_{LU} = 1 - 0.80 = 0.20$$

$$Pérdida_I = 1 - 0.95 = 0.05$$

$$Pérdida_F = 1 - 0.99 = 0.01$$

$$Pérdida_N = 1 - 0.97 = 0.03$$

$$Pérdida_{CC} = 1 - 0.99 = 0.01$$

$$Pérdida_{total} = 0.3 \neq 0.2775$$

Debido al procedimiento de multiplicación  $MSA_{total} + Pérdida_{total} \neq 1$  se necesita aplicar el factor de corrección. La fórmula para calcular el factor es la siguiente:  $fc = (1 - MSA) / \sum Pérdidas$ . En este caso sería:

$$fc = (1 - 0.7225) / 0.3 = 0.925$$

Este factor se aplica a cada una de las pérdidas individuales, así

$$Pérdida_{LU} = 0.20 * 0.925 = 0.1850$$

$$Pérdida_I = 0.05 * 0.925 = 0.0462$$

$$Pérdida_F = 0.01 * 0.925 = 0.0092$$

$$Pérdida_N = 0.03 * 0.925 = 0.0277$$

$$Pérdida_{CC} = 0.01 * 0.925 = 0.0092$$

Una vez corregidas, las pérdidas sí se pueden expresar como fracción de la unidad:

$$MSA_{total} = MSA_{remanente} + Pérdida_{LU} + Pérdida_I + Pérdida_F + Pérdida_N + Pérdida_{CC} = 1$$

Con el fin de facilitar todos estos cálculos de totales y desagregaciones, la Netherlands Environmental Assessment Agency ha desarrollado un *Query* (consulta) en una base de datos en Access (*MSA\_per\_province\_and\_LU.mdb*). Esta herramienta le permitirá realizar estos cálculos de forma automática. Los archivos de Access se encuentran preparados en las carpetas *Query\_DEPTO* y *Query\_AP* del folder *Practica\_GLOBIO\_Nicaragua*. Se realizará una desagregación por Departamentos y una por Áreas Protegidas. Sin embargo, para poder realizar el *Query* en Access deberá preparar sus archivos de MSA con el formato y los nombres adecuados.

Deberá realizar una combinación de los mapas de MSA con los de departamentos o áreas protegidas en ArcMap, para luego exportar los resultados a Access. Los encabezados de sus resultados y todos los archivos deben ser exactamente los mismos que los configurados en el *Query* en Access, de lo contrario, el *Query* no funcionará. Además, los valores de MSA deben multiplicarse previamente por 10000, ya que la función *Combine* sólo trabaja con valores enteros.

#### Datos de insumo:

Mapa de impacto por uso de suelo (*msa\_lu*)

Mapa de impacto por infraestructura (*msa\_infra*)  
 Mapa de impacto por fragmentación (*msa\_frag*)  
 Mapa de impacto por deposición de Nitrógeno (*msa\_ndep*)  
 Mapa de impacto por cambio climático (*msa\_cc*)  
 Shape de departamentos (*dept\_nic*) o shape de áreas naturales (*ap\_nic*)  
 Mapa de uso de suelos (*lu\_nic\_bd*)

**Resultados intermedios** (con los nombres adecuados para ejecutar el Query en Access):

MSA por uso de suelo \* 10000 (*MSALU10K*)  
 MSA por infraestructura \* 10000 (*MSAI10K*)  
 MSA por fragmentación \* 10000 (*MSAF10K*)  
 MSA por deposición de Nitrógeno \* 10000 (*MSAN10K*)  
 MSA por cambio climático \* 10000 (*MSACC10K*)  
 Mapa de departamentos o de áreas naturales (*PROV*)  
 Mapa de uso de suelos (*LU*)

**Resultados finales:**

Mapa *Combine*  
 Tabla *Result.dbf*

**Pasos:**

- Abra una nueva vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst*, tal como se explicó anteriormente, utilice el directorio C:\Practica\_GLOBIO\_Nicaragua\Query\_DEPTO. Cargue ahora el shape *dept\_nic*.
- Convierta el *shape* de departamento a *raster*, con el Field DEPTO y guarde su resultado con el nombre *PROV*. En el *raster* obtenido, se observa que cada departamento tiene un número correspondiente. No se debe alterar el nombre de este archivo, pues es el predeterminado en el Query de Access.
- Multiplique cada uno de los mapas de MSA por 10000. Utilice el *Raster Calculator* y dé el nombre indicado anteriormente a cada archivo obtenido en los resultados intermedios. Utilice la función *Int* para asegurar valores enteros en el resultado. Por ejemplo:  

$$MSALU10K = \text{int}(msa\_lu * 10000)$$
 y así sucesivamente en los demás mapas
- Antes de realizar la combinación de los mapas, vaya al menú **Tools/Options** y configure en la etiqueta *Raster/Raster Attribute Table* el valor máximo de valores únicos en 200000. Esta operación se realiza porque el valor predeterminado en esta opción es el número de filas que permite Excel. En Access se permite; de hecho habrá un mayor número de casos y es necesario incluirlos todos.



- Cambie el nombre del mapa de usos de suelos a *LU* (el nombre configurado en el Query). Para no perder el mapa original, puede hacer una copia con el ArcCatalog.
- Vaya al menú del ArcToolbox ***Spatial Analyst Tools/Local/Combine***. Introduzca los siete mapas como Inputs en el siguiente orden:

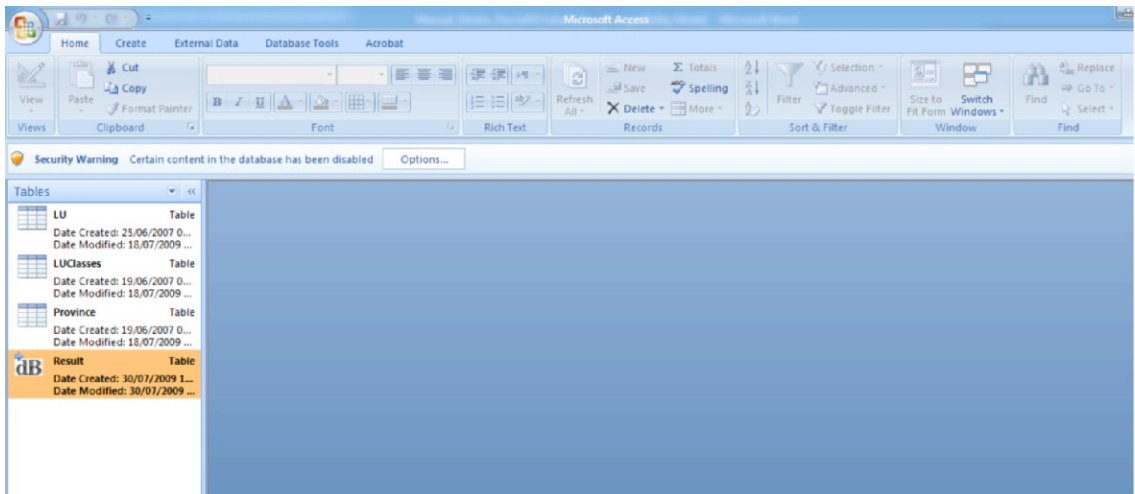
PROV  
 MSALU10K  
 MSACC10K  
 MSAI10K  
 MSAF10K  
 MSAN10K  
 LU

Dé al nuevo archivo el nombre de *Combine* y guárdelo en su directorio.

Exporte la tabla de atributos del nuevo mapa a la misma carpeta *Query\_DEPTO* con el nombre de *Result.dbf*.

Puede observar que en la carpeta ya existe una tabla con el nombre *Result*; la tabla para correr el Query siempre deberá tener ese nombre. Si lo desea, puede sustituir esa tabla, pero lo más aconsejable es que cambie el nombre de la misma (p.e. *Result\_orig*), para mantener una copia. Para múltiples ejecuciones del Query, puede ir cambiando los nombres de las tablas *Result* que ya haya utilizado o puede ir las reemplazando. Si lo prefiere, también puede crear carpetas de Query separadas que contengan su propia tabla *Result* y los archivos *MSA\_per\_province\_and\_LU .mdb* y *.ldb*, según le resulte más conveniente. Lo importante es que el archivo con el que se esté trabajando tenga el nombre *Result*.

- Una vez que el archivo llamado *Result* contenga los datos del *Combine* con el que se está trabajando, abra la base de datos *MSA\_per\_province\_and\_LU.mdb*.



Actualice la tabla *Result.dbf* anterior con los resultados que acaba de generar. Puede hacerlo con cualquiera de los dos siguientes procedimientos:

- o Eliminando la tabla existente e importando la nueva tabla que guardó en su directorio. Para esto, presione clic derecho en el menú **Tables** y seleccione **Import**. Busque la tabla en el directorio correcto.
- o Para actualizar el contenido de la tabla existente, haga clic derecho en el menú y seleccione **Linked able Manager**. Marque la tabla, dele Ok y busque la tabla en el directorio donde la tiene almacenada. Marque la casilla *Always prompt for new location*. Al finalizar deberá recibir un aviso de *All selected linked tables were successfully refreshed*.
- Edite ahora las tablas *LU* y *Province* con los nombres de cada uno de los usos de suelo y de los departamentos correspondientes a sus mapas. Puede editarlos uno a uno o puede copiarlos de Excel.
- También puede agrupar sus clases de uso de suelo en clases más generales. Para esto, en la tercera columna de la tabla *LU* reclasifique las clases de uso de suelo en una de las clases de la tabla *LUClass*. Puede crear más clases generales de ser necesario.

LU	LUName	LUClass	Add New Field
10	Primary forests	3	
11	Forest plantations	1	
12	Secondary forests	3	
13	Light used primary forests	3	
20	Agro forestry	1	
30	Extensive agriculture	1	
31	Irrigated intensive agricultu	1	
32	Intensive agriculture	1	
33	Perennials & bio fuels	1	
40	Natural grass & shrub lands	2	
41	Man made pastures	2	
42	Livestock grazing	2	
50	Natural Bare, rock & snow	4	
60	Natural inland water	4	
61	Artificial water	4	
70	Built up areas	4	
*	0	0	

- Ahora, puede ejecutar el Query abriendo primero la etiqueta **Queries** y dando doble clic en la *MSA result query* que desea. Observe que puede generar Queries que le calculen el MSA total por país o por departamento y desagregar su composición por impacto o por usos de suelo.

PROV	Province	Area	MSA remain	Infrastructu	Fragmentati	Deposition	Climate
1	BOACD	16666	0.3323914848	0.0109034539	0.0136953667	0	0.02016216
2	CARAZO	4342	0.298681817	0.0555311967	0.0390007602	0	0.01938801
3	CHINANDEGA	18281	0.3998509957	0.1013244638	0.0503984562	0	0.01993264
4	CHONTALES	25515	0.3132873794	0.0305116773	0.0165346253	0	0.01974485
5	ESTELU	9070	0.3040276706	0.1312062776	0.0726397638	0	0.01773391
6	GRANADA	4188	0.3201569642	0.0529339726	0.0381438105	0	0.03974961
7	JINOTEGA	38860	0.6739901686	0.0408221819	0.0226074866	0	0.01880182
8	LEON	20057	0.3445376945	0.1037064306	0.0586312679	0	0.01985569
9	MADRID	8913	0.3062626376	0.1114221613	0.0623915656	0	0.01765584
10	MANAGUA	13652	0.2948820602	0.0381136264	0.0381224394	0	0.02062608
11	MASAYA	2487	0.2808118173	0.0279991056	0.0168852572	0	0.02018324
12	MATAGALPA	27197	0.3623849887	0.0480182516	0.0409263504	0	0.01891513

Los pasos para hacer la desagregación por departamento o provincia son los mismos usado en la desagregación de Áreas Protegidas, simplemente se entienden ambas como unidades administrativas, cada una con un interés particular para analizar la pérdida de biodiversidad.

Para trabajar con las áreas protegidas genere un *raster* a partir del archivo shape *ap\_nic*. Realice la desagregación por área protegida de acuerdo con las distintas categorías de manejo que existen en un país. En el shape *ap\_nic* se encuentra esta clasificación en el campo *CAT\_MAN* de la tabla de atributos. Antes de convertirla a *raster*, necesita crear un campo adicional en el que debe clasificar con un número cada una de las categorías de manejo de áreas protegidas del país.

- En la tabla de atributos, vaya a **Options/Add fiel** y agregue un campo al que puede llamar *PROV* de tipo Short Integer.
- Asigne un número a cada categoría de manejo: con la opción *Select by Attributes* seleccione una categoría de manejo, por ejemplo *CAT\_MAN* = Monumento Histórico. Una vez seleccionada la categoría, haga clic derecho en el campo *PROV* y con el *Fiel Calculator* asígnele un número. Haga lo mismo con cada una de las categorías de manejo. Al finalizar, el campo deberá verse similar como la imagen a la derecha:

PROYEC	FONDOS	OTR_USOS	AMENAZAS	CAT_MAN	PROV
0			Monumento Nacional		2
0			Monumento Nacional		2
0			Sitios Ramsar		10
0			Sitios Ramsar		10
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva de Biostera		8
0			Sitios Ramsar		10
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Biológica		6
0			Refugio de Vida Silvestre		5
0			Reserva Natural		7
0			Refugio de Vida Silvestre		5
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva Natural		7
0			Reserva de Recursos Genéticos		9
0			Reserva de Recursos Genéticos		9
0			Refugio de Vida Silvestre		5
0			Refugio de Vida Silvestre		5

- Convierta a *raster* el mapa *ap\_nic* por el campo que acaba de generar. Guarde el *raster*, con el mismo nombre PROV que utilizó en el *raster* de provincias, en su carpeta *Query\_AP*. Recuerde que el archivo debe tener ese nombre o de lo contrario el Query no funcionará.

Los demás procedimientos son los mismos que con el mapa de departamentos, manteniendo todos los nombres de los archivos iguales a los del Query. Guarde su archivo *Result.dbf* con los mismos procedimientos, pero en la carpeta *Query\_AP*. Cuando modifique en Access la tabla *Province*, introduzca los nombres de las categorías de manejo de áreas protegidas, según lo reclasificó en el shape.

PROV	province
1	Monumento Histórico
2	Monumento Nacional
3	Paisaje Terrestre y/o Marino Protegido
4	Parque Nacional
5	Refugio de Vida Silvestre
6	Reserva Biológica
7	Reserva Natural
8	Reserva de Biosfera
9	Reserva de Recursos Genéticos
10	Sitios Ramsar
*	0

### Resultados gráficos

Además de las tablas de los resultados de MSA por departamento y áreas protegidas, es sumamente útil ilustrar sus resultados con gráficas, ya que éstas permiten mostrar información más interpretable y atractiva para los tomadores de decisiones o para el público que utilice sus resultados.

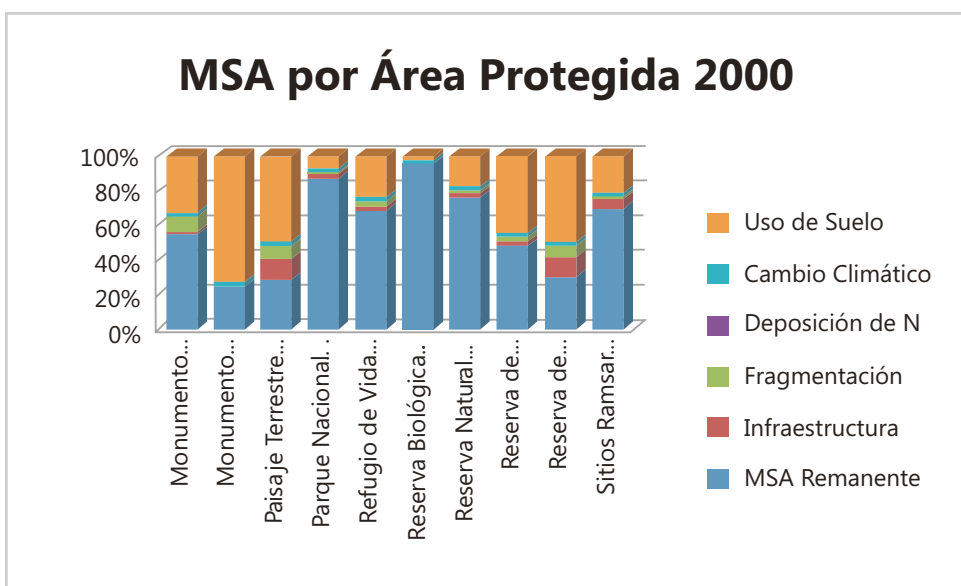
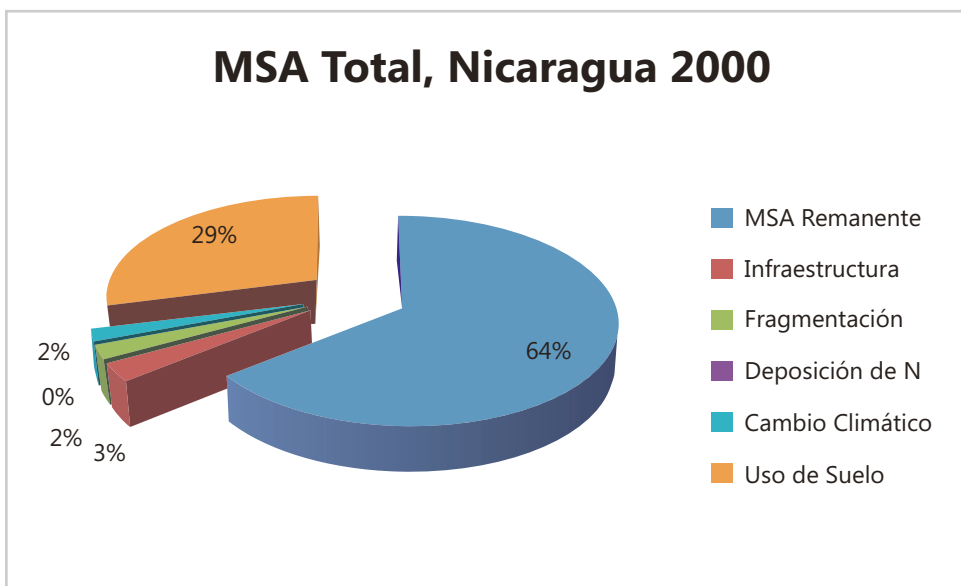
Entre los gráficos que se pueden producir se incluyen:

- Gráficos de pastel o de barras para presentar el MSA remanente y las fracciones por presiones para un país o una unidad, en un año determinado.

- Gráficos de barras apiladas para mostrar los resultados de varias unidades o varios años a la vez.
- Gráficos de área donde se muestre el cambio de MSA para una unidad en un período de tiempo determinado.

Para elaborar estos gráficos, exporte los resultados de los Queries de su interés a Excel.

- Haga clic derecho sobre el Query que desee exportar y clic en *Export*, seleccionando el archivo como tipo *Excel*. Abra su tabla en *Excel* para generar los gráficos. Practique con los siguientes ejemplos:



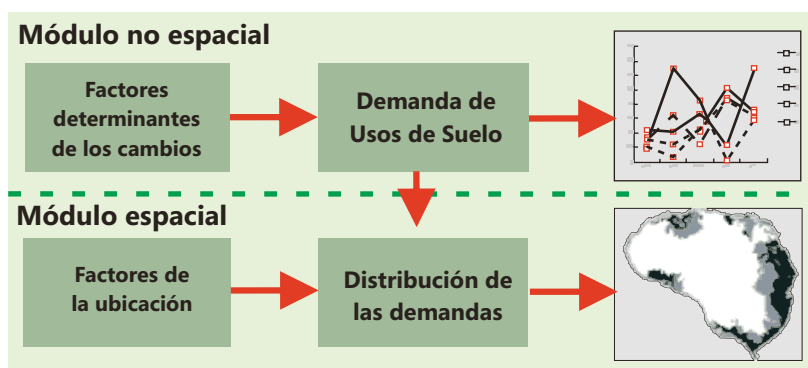
## CLUE - Conceptos

Para poder modelar el estado futuro de la biodiversidad se necesitan mapas que proyecten los cinco impactos considerados en el modelo. Es apropiado contar al menos con un mapa de uso de suelo, pues esta es por lo general la presión ambiental más significativa. Generar dicho mapa es un asunto complejo porque los cambios de uso dependen de muchos factores económicos, ecológicos y sociales que determinan su magnitud, su ubicación espacial y los tipos de transiciones que ocurran. Integrar estos aspectos exige el uso de un sistema de modelación.

El modelo CLUE-S (Conversion of Land Uses and its Effects at Small regional extent: Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg et al., 1999) es un marco de modelación de la distribución futura de los usos de suelo en una área o región determinada. El modelo toma en cuenta los distintos factores principales que determinan la dinámica de los usos de suelo como un sistema cerrado donde los diferentes usos compiten entre sí. El proceso de simulación se basa en la combinación de las demandas de área de cada uso de suelo con las reglas y restricciones -derivadas a partir de relaciones estadísticas y empíricas- que determinan la idoneidad de una ubicación para un uso determinado.

El modelo tiene dos componentes: un módulo no espacial con el cual se determina la demanda de área para cada categoría de uso de suelo y se especifican las reglas y restricciones; y, un módulo espacial donde las demandas se asignan a través de la simulación dinámica. Sólo el módulo espacial es respaldado por la interfase del usuario. Para el módulo no espacial se especifican los requerimientos de información y el usuario la recopila, ordena y analiza para poder especificar las demandas de área. De hecho, dada la complejidad de los parámetros que determinan las demandas, muchas veces es requerida la colaboración de un equipo multidisciplinario que conozca las características de la dinámica de los usos de suelo en el área de trabajo, para organizar los datos y aportar mayor validez a los resultados. La siguiente figura tomada de Verburg (2003) muestra los dos módulos y la descripción general del procedimiento.

**Figura 1.**  
Descripción general  
del procedimiento  
de modelación.



En esta sección del manual se explican los parámetros del modelo, su estimación y cómo funciona el procedimiento de distribución. Aunque la modelación requiere de la intervención de expertos de distintas disciplinas que no necesariamente utilizan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los insumos y los resultados sí se presentan en este formato. En la siguiente sección se describen los procedimientos de preparación y manejo de los archivos para ejecutar el modelo, una vez definidos los parámetros.

## Determinantes de los usos de suelo futuros

### ***Demanda de uso de suelo***

Las demandas de área futura de cada categoría de uso de suelo son las primeras determinantes para su configuración. Dada la limitada disponibilidad de área en un país o región, los distintos usos que en ella ocurren compiten entre sí. Por ejemplo, un país necesita zonas agrícolas para producir los alimentos suficientes para satisfacer la demanda de su población y la demanda de exportación, además de áreas urbanas para que su población habite. Sin embargo, no puede extender sus zonas agrícolas indefinidamente, porque necesita tener zonas de bosque, cultivos permanentes y pastizales. Tampoco podría existir una estrategia de reforestación que pretendiese extender el área forestal sin dejar suficiente área para generar alimentos. Estos requerimientos se expresan en lo que se conoce como una tabla de demanda, tal como la que se muestra a continuación:

***Requerimientos de área en km<sup>2</sup> para uso del suelo por año***

	Año	Bosque primario	Bosque secundario	Agro forestería	Agricultura extensiva	Agricultura intensiva	Pastos naturales	Pastos cultivados	Perennes y frutales	Otros usos
0	2000	51155	5230	2062	37654	947	10438	11295	1285	10475
1	2001	50695	5301	2102	38044	1007	10385	11242	1290	10475
2	2002	50235	5372	2142	38434	1067	10332	11189	1295	10475
3	2003	49775	5443	2182	38824	1127	10279	11136	1300	10475
4	2004	49315	5514	2222	39214	1187	10226	11083	1305	10475
5	2005	48855	5585	2262	39604	1247	10173	11030	1310	10475
6	2006	48395	5656	2302	39994	1307	10120	10977	1315	10475
7	2007	47935	5727	2342	40384	1367	10067	10924	1320	10475
8	2008	47475	5798	2382	40774	1427	10014	10871	1325	10475
9	2009	47015	5869	2422	41164	1487	9961	10818	1330	10475
10	2010	46555	5940	2462	41554	1547	9908	10765	1335	10475
11	2011	46095	6011	2502	41944	1607	9855	10712	1340	10475
12	2012	45635	6082	2542	42334	1667	9802	10659	1345	10475
13	2013	45175	6153	2582	42724	1727	9749	10606	1350	10475
14	2014	44715	6224	2622	43114	1787	9696	10553	1355	10475
15	2015	44255	6295	2662	43504	1847	9643	10500	1360	10475
16	2016	43795	6366	2702	43894	1907	9590	10447	1365	10475
17	2017	43335	6437	2742	44284	1967	9537	10394	1370	10475
18	2018	42875	6508	2782	44674	2027	9484	10341	1375	10475
19	2019	42415	6579	2822	45064	2087	9431	10288	1380	10475
20	2020	41955	6650	2862	45454	2147	9378	10235	1385	10475
21	2021	41495	6721	2902	45844	2207	9325	10182	1390	10475
22	2022	41035	6792	2942	46234	2267	9272	10129	1395	10475
23	2023	40575	6863	2982	46624	2327	9219	10076	1400	10475
24	2024	40115	6934	3022	47014	2387	9166	10023	1405	10475
25	2025	39655	7005	3062	47404	2447	9113	9970	1410	10475
26	2026	39195	7076	3102	47794	2507	9060	9917	1415	10475
27	2027	38735	7147	3142	48184	2567	9007	9864	1420	10475
28	2028	38275	7218	3182	48574	2627	8954	9811	1425	10475
29	2029	37815	7289	3222	48964	2687	8901	9758	1430	10475
30	2030	37355	7360	3262	49354	2747	8848	9705	1435	10475



Una tabla de demanda indica el requerimiento de área de cada categoría de uso de suelo para cada año de la modelación. El área inicial es la de cada uso de suelo, reflejado en dicha categoría en el mapa nacional, que sea de más reciente disponibilidad y que se utiliza como base. El requerimiento total de área de cada año futuro (la suma del área de todos los usos) debe ser igual al área total del país. Una tabla de demanda expresa las características del escenario de modelación. En la tabla se pueden proyectar las tendencias de uso de suelo de los últimos años para mostrar lo que pasaría si tal patrón de crecimiento se mantuviera (p.e.: avance de la frontera agrícola, pérdida de bosque primario); también puede crearse un escenario de la implementación de algún acuerdo (p.e.: tratados de libre comercio que tendrían como consecuencia el aumento del área agrícola) o pueden evaluarse distintas opciones de políticas para alcanzar un objetivo (p.e.: incremento en plantaciones forestales contra el incremento en producción de biocombustibles, como estrategias para la conservación de biodiversidad).

Para construir una tabla de demanda es necesario realizar una revisión de diversas fuentes confiables de información territorial. Éstas pueden ser bases de datos de los ministerios de ambiente, recursos naturales y forestales, cifras de los institutos de estadística, datos empresariales, tendencias o proyecciones realizadas por organismos e instituciones, entre otros. Entre más aplicables, confiables y realistas sean las cifras encontradas, más válidos serán los resultados de la modelación. No obstante, es posible que al combinar las cifras de diferentes fuentes en la tabla, los datos no concuerden con el área total y sea necesario ajustar los números. En otras ocasiones, la información estará agregada en clases generales como "bosque" o "agropecuario", que no necesariamente coinciden con las clases del mapa de uso de suelo. Si esta fuese la única información disponible, será necesario agregar y reclasificar las clases del mapa. Todo dependerá de la disponibilidad de tiempo, recursos e información del equipo modelador.

La tabla de demanda también puede ser calculada a través de modelos econométricos avanzados, si se dispone de alguno, para predecir con mayor exactitud el requerimiento de cada uso.

### ***Características de la ubicación***

Cada unidad de área (un pixel o celda en el mapa) tiene una serie de características que definen en gran parte su idoneidad para un determinado uso. Estos factores suelen ser: de carácter físico-climático, tales como precipitación, altura, elevación, tipo de suelo o nivel de fertilidad; demográficos, como densidad o crecimiento poblacional; o relacionados al acceso, como distancia a carreteras, mercados o fuentes de agua.

En este caso, la recopilación de información consiste en acceder a aquella que se encuentra georeferenciada, referida a los anteriores factores; en otras palabras, se necesitan mapas de cada factor. Los ministerios de ambiente y recursos naturales suelen contar con alguna instancia interna que maneja la información espacial del país. Los mapas deben ser trabajados y, en ciertos casos, modificados o recalculados para poder integrarlos a la interfase del CLUE. El procedimiento se explica en la siguiente sección CLUE - Tutorial.

El análisis de regresión es utilizado para asignarle un peso específico a la influencia de cada factor en la idoneidad de una ubicación de un determinado uso de suelo. En ArcGIS se genera un

mapa binario de cada uno de los usos de suelo (con valores de 1 donde ocurre el uso y 0 en el área restante) y se preparan los mapas de los factores. Estos datos son convertidos e integrados en un programa estadístico (como SPSS) para calcular una regresión logística que devuelva a cada uso de suelo los coeficientes de cada uno de los factores. Así, la probabilidad de la ocurrencia de un uso de suelo en una celda está dada por:

$$P_{i,u} = \frac{1}{1 + e^{-t_{i,u}}}$$

Donde  $P_{i,u}$  es la probabilidad en la celda  $i$  de la ocurrencia del uso de suelo  $u$  y  $t_{i,u}$  es el logit del uso de suelo  $u$  en la celda  $i$ , que se calcula como:

$$t_{i,u} = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} \dots + \beta_n X_{n,i}$$

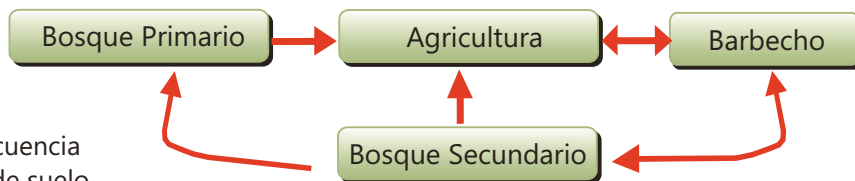
Donde  $\beta_0$  es una constante, los  $\beta_n$  son los coeficientes de cada uno de los factores para el uso de suelo  $u$  y los  $X_{n,i}$  son los valores específico de los factores en una celda. En otras palabras, los coeficientes representan el peso de cada factor en la ocurrencia de un uso de suelo, de acuerdo a las características de la ubicación. En la modelación, se calcula la función  $P_{i,u}$  de todas las categorías de uso de suelo para cada celda y así determinar para qué uso resulta más idónea la celda.

El análisis de regresión es uno de los factores más determinantes en la distribución espacial de los cambios de uso de suelo. Por lo tanto, es importante integrar al análisis información amplia, detallada y actualizada sobre los factores.

### Características específicas de conversión

#### Matriz de conversión

Además de las demandas de área y las características específicas de las ubicaciones, existen otros factores que limitan los cambios de uso de suelo. No todas las conversiones entre usos de suelo son posibles, muchos siguen una secuencia de transición antes de llegar a otro uso. Por ejemplo, aunque es posible convertir directamente un bosque a tierra agrícola o a pastizal, no es posible el caso contrario de convertir directamente un área agrícola o de pastizal en un bosque. Se tendría que pasar de la agricultura al barbecho, luego al crecimiento de un bosque secundario y finalmente a un bosque primario. Otras veces los cambios son posibles, pero requieren de una cantidad de tiempo mínimo determinado. Por ejemplo, el bosque secundario puede convertirse en bosque primario, pero sólo después de unos 20 ó 30 años. En otros casos un uso de suelo sólo puede permanecer en la misma ubicación durante un tiempo máximo. Por ejemplo, en un sistema de rotación de cultivos un área sólo puede sostener agricultura por 2 ó 3 años y luego debe cambiar a barbecho para recuperar los nutrientes del suelo. La Figura 2 muestra un ejemplo de la estructura de una secuencia de transición.



**Figura 2.** Descripción de una secuencia de transición de usos de suelo

Todas estas posibilidades y condicionantes de los cambios se definen en una matriz de conversión. En esta matriz se colocan los usos de suelo en los dos ejes y los cruces se completan con 1 ó 0: 1, si la conversión del uso de suelo de la fila al uso de suelo de la columna es posible y 0, si la conversión no es posible. Además, se pueden integrar los condicionantes de tiempo mínimo o máximo de permanencia de un uso de suelo para que ocurra una conversión. Para estos casos se coloca 100 + (número mínimo de años) ó -100 (número máximo de años).

**Tabla 1.** Ejemplo de una matriz de conversión.

	Bosque primario	Bosque secundario	Plantaciones	Agricultura de rotación	Agricultura intensiva	Tierras en descanso	Pastos	Otros usos
Bosque primario	1	0	1	1	1	1	1	0
Bosque secundario	130	1	1	1	1	1	1	0
Plantaciones	0	120	1	0	0	1	0	0
Agricultura de rotación	0	0	1	-105	1	1	1	0
Agricultura intensiva	0	0	1	1	1	1	1	0
Tierras en descanso	0	120	1	1	1	1	1	0
Pastos	0	0	1	1	1	1	1	0
Otros usos	0	0	0	0	0	0	0	1

En la matriz de ejemplo se puede observar que la conversión de bosque secundario a bosque primario toma 30 años y ningún otro uso de suelo puede convertirse a bosque. La conversión de plantación y tierras en descanso a bosque secundario toma 20 años. La agricultura no puede pasar directamente a ser bosque sin pasar por convertirse en plantación o en tierra en descanso. Por otro lado, la agricultura de rotación no puede permanecer como tal por más de cinco años; en el quinto año la conversión es obligatoria.

### Elasticidades de conversión

Algunos usos de suelo son más propensos a cambiar si otro uso de suelo se vuelve más rentable en esa ubicación. Por ejemplo, si un área se encuentra bajo un cultivo anual y allí se quisiera poner una plantación, fácilmente se cambiaría el cultivo al final del ciclo y se explotaría otro lugar. Por otro lado, los usos de suelo que requieren gran inversión de recursos y/o tiempo para su establecimiento, no son cambiados fácilmente, como por ejemplo un bosque o una zona urbanizada. Las ubicaciones con esta característica van a mantenerse en el mismo tipo de uso de suelo a lo largo del tiempo.

Para introducir este concepto a la simulación a cada uso de suelo se le asigna un valor de "elasticidad de conversión". Los valores de elasticidad oscilan entre 1 y 0. Entre más alto sea el valor, más difícil será cambiar el uso de suelo y trasladarse a explotar otro lugar.



**Tabla 2.** Ejemplo de elasticidades de conversión.

	<i>Elasticidades</i>
Bosque primario	1
Bosque secundario	0.8
Plantaciones	0.5
Agricultura de rotación	0
Agricultura intensiva	0.2
Tierras en descanso	0.4
Pastos	0.2
Otros usos	1

En la tabla anterior se muestra un ejemplo de elasticidades de uso de suelo. Observe que por la dificultad de su explotación y reubicación, los bosques reciben un alto valor de elasticidad, mientras que los usos agrícolas, particularmente los menos intensivos, reciben valores bajos. Aunque un usuario puede realizarlo con su conocimiento general, es aconsejable que la asignación de valores, tanto en la matriz como en las elasticidades, sea realizada con las opiniones de expertos que conozcan la dinámica de los usos de suelo del país, así la información resulta más aplicable y validada.

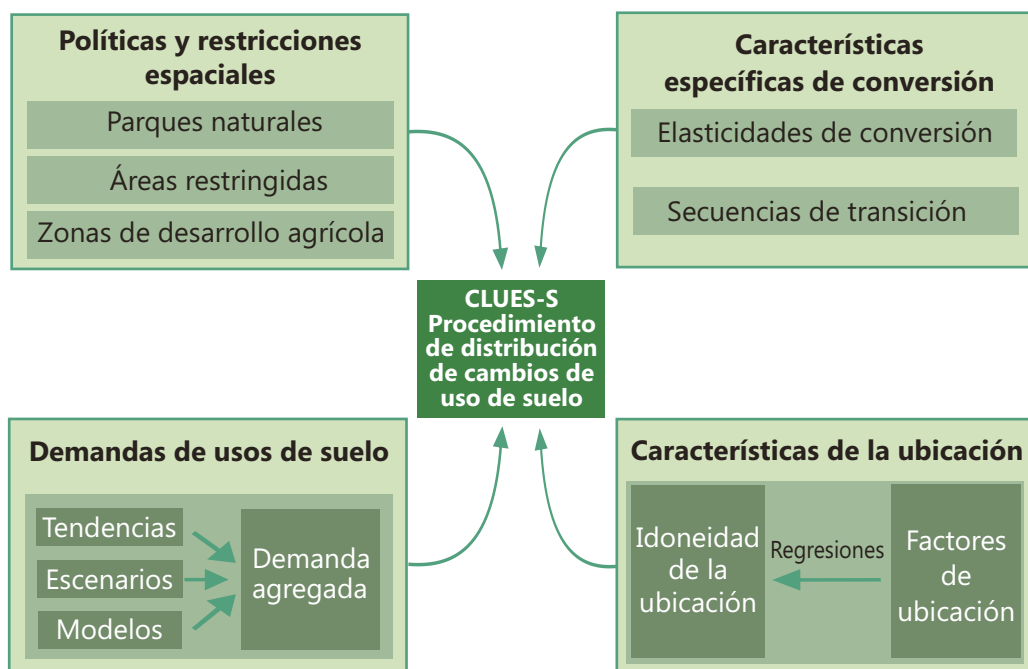
### Políticas y restricciones espaciales

El último aspecto determinante en la distribución de los usos de suelo futuros son las políticas y restricciones espaciales. Cada país tiene una serie de reglamentaciones espaciales, orientadas según sus metas y prioridades por medio políticas públicas. Por ejemplo, el Sistema Nacional de Áreas Protegidas define áreas específicas en donde los usos de suelo están total o parcialmente retringidos. Existen también zonas de desarrollo donde el gobierno promueve ciertos usos de suelo a través de incentivos financieros, comerciales y fiscales.

Estos elementos se integran a la modelación por medio de mapas. Los polígonos del mapa delimitan áreas donde no será permitida la ocurrencia de cambios durante la simulación o donde los cambios ocurrirán bajo ciertas restricciones. Los mapas nacionales de áreas protegidas y los de zonas desarrollo, si están disponibles, pueden ser utilizados como insumos del CLUE. También es posible generar aquellos con áreas de restricción ficticias o áreas en planes de declaración, para comparar en dos simulaciones distintas el efecto de un sistema de restricción con otro.

Los criterios particulares del equipo modelador también pueden ser tomados en cuenta. En ocasiones se conoce que las condiciones de manejo de las áreas protegidas no están siendo tan eficientes en lograr sus objetivos, por lo cual se puede considerar no realista la inclusión de áreas de restricciones.

La siguiente figura describe en resumen el flujo de información del modelo CLUE:



**Figura 3.** Descripción general del flujo de información en el modelo CLUE-S.

## Procedimiento de distribución

El modelo CLUE integra las demandas futuras de las categorías de uso de suelo con las determinantes de distribución características de la ubicación, las específicas de conversión y políticas, y restricciones espaciales, a través de la “modelación dinámica”. Una vez que los insumos están preparados en el formato adecuado e integrados a la interfase del usuario, CLUE simula el cambio de uso del suelo para cada período discreto de tiempo (1 año) en un proceso iterativo:

- El primer paso consiste en determinar qué ubicaciones o celdas tienen permitido cambiar en un período de tiempo. Las celdas dentro de áreas delimitadas en los mapas de las políticas de restricción quedan excluidas de los siguientes cálculos. También se identifican las celdas que se encuentran bajo restricciones de cambio en la matriz de conversión.
- El siguiente paso es el cálculo de la probabilidad total de todos los usos de suelo para cada una de las celdas. La probabilidad total se calcula según la siguiente fórmula:

$$TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u$$

Como se detalló anteriormente,  $P_{i,u}$  representa la probabilidad en la celda  $i$  de la ocurrencia del uso de suelo  $u$ , es decir, la idoneidad de la celda para el uso de suelo, calculada a partir de la ecuación de regresión.  $ELAS_u$  es la elasticidad de conversión del uso  $u$ , e  $ITER_u$  es una variable de iteración.

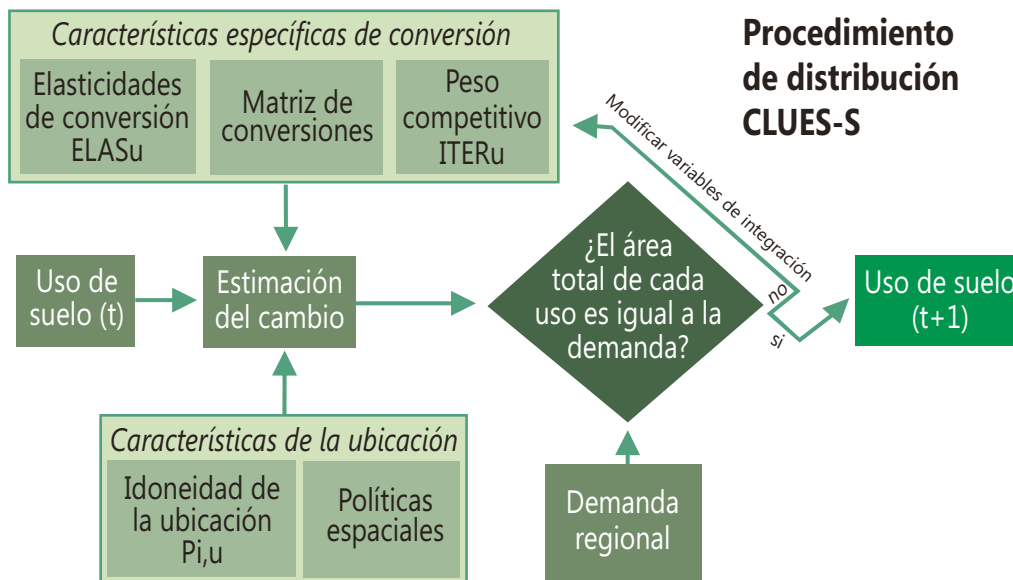
La elasticidad de conversión (el término  $ELAS_u$ ) sólo se suma en la fórmula si la celda  $i$  se encuentra bajo el uso de suelo  $u$  en ese período. Es decir, de todas las  $TPROP_{i,u}$  que se calculan

para una celda sólo se suma la elasticidad en la  $TPROP_{i,u}$  del uso de suelo en el que se encuentra la celda. Aquí puede observarse la función de la elasticidad de conversión. Los usos de suelo con un alto valor de elasticidad, como los bosques, recibirán un peso adicional en la probabilidad de mantenerse en el mismo uso en el período siguiente.

La variable de iteración  $ITER_u$  es un número específico para cada categoría de uso de suelo y se modifica en cada una de las iteraciones para variar la fuerza competitiva de cada uso.

- El tercer paso es una distribución preliminar de los usos de suelo donde se asigna a la variable de iteración el valor de 1 para todos los usos. A cada celda se le asigna el uso de suelo que resultó con la mayor probabilidad total. Las celdas a las que no les es permitido cambiar se mantienen iguales. Se calcula el área total que fue asignada a cada uso de suelo y se compara este valor con el estipulado en la tabla de demanda.
- El cuarto paso consiste en ajustar las diferencias entre el área distribuida y la estipulada para cada uso de suelo, modificando los valores de la variable  $ITER_u$ . Para los usos de suelo que han recibido más área de la prevista, se reduce el valor de la variable. Para los usos de suelo que han recibido menos área, el valor se incrementa y se reinicia el procedimiento de distribución.

El programa permite especificar un nivel de error máximo tolerable de asignación de área en la simulación total y también lo especifica para cada uso de suelo. Este nivel de error puede definirse en términos absolutos (unidades de área) o en relativos (porcentaje). Así, el programa continuará repitiendo los cuatro pasos de la distribución hasta que las diferencias entre el área distribuida y la de demanda por cada uso de suelo alcance el valor de error. Una vez solucionado un período de tiempo, se pasa al período o año siguiente y se inicia de nuevo el procedimiento, hasta finalizar todos los años de la simulación. La siguiente figura describe la estructura del procedimiento de distribución:



**Figura 4.** Diagrama de flujo del módulo de distribución del modelo CLUE-S.

La existencia de un margen de error tolerable implica que no habrá una solución única para el modelo, sino que cada ejecución de una misma simulación presentará ligeras diferencias.

## Resultados e interpretación - Implicaciones en la modelación de biodiversidad

Todos los archivos de instalación y ejecución del programa se guardan en un directorio único. Al finalizar la ejecución del modelo tendrá en su directorio una serie de mapas de resultado en formato ASCII, para cada uno de los años de la simulación, los que deberá convertir a *raster* para visualizarlos en ArcGIS.

Cada mapa muestra la distribución de los usos de suelo especificados en la tabla de demanda para ese año, en los lugares donde su probabilidad de ocurrencia es mayor, de acuerdo a las restricciones definidas por el usuario. El último mapa, correspondiente al año final de la simulación, muestra el resultado final del escenario construido a través de la tabla de demanda y de las condicionantes. En el marco de la metodología GLOBIO, este mapa es el insumo principal para la modelación del estado futuro de la biodiversidad.

El utilizar el modelo CLUE se hace con el objetivo de obtener un mapa futuro de usos de suelo que permita visualizar cuál será el estado de la biodiversidad dentro de un espacio de tiempo determinado, en función de escenarios socioeconómicos y políticos. Por lo tanto, se debe procurar que las clases de uso de suelo que se construyan en la tabla de demanda tengan características de biodiversidad significativamente distintas. De ser posible, es ideal que estas clases sean compatibles o iguales a las establecidas en la modelación del estado actual de la biodiversidad. Como se mencionó anteriormente, la principal limitante en la elaboración de las tablas de demanda es la disponibilidad de información. Este proceso requiere de muchos recursos y resulta muy difícil construir una tabla de demanda que contenga el mapa nacional con todas las clases de uso de suelo o incluso todas las de uso de suelo de la modelación del Impacto por Cobertura/Usos de Suelo (ver sección 1 de GLOBIO Conceptos). Suele ser necesario agregar estas clases en otras más generales. Por ejemplo, distintos usos de bosque, como latifoliado cerrado, pino cerrado y mixto, que tendrían un valor similar de MSA, por lo que es posible agregarlos en una sola clase como "Bosque primario". Sin embargo, en la medida de lo posible, no se deben agregar clases con valores de biodiversidad muy distintos entre sí, por ejemplo clases agrícolas con pastizales en una sola clase de "agropecuaria", pues como los valores de biodiversidad en estas dos clases difieren, se perdería la riqueza de analizar la biodiversidad de las mismas por separado.

El nivel de agregación de la tabla de demanda de CLUE debe ser suficiente para optimizar el uso de recursos y tiempo sin sobreagregar la información. Al construir la tabla, trate de que contenga como mínimo las categorías de usos de suelo descritas en la Tabla 1 de la sección GLOBIO - Conceptos.



## CLUE - Tutorial

### Contenido de la carpeta

La segunda parte del tutorial se encuentra en la carpeta *Practica\_Clue\_Archivos* del CD. Esta carpeta contiene todos los archivos necesarios para la instalación del programa y la realización de los ejercicios. Vaya copiando los archivos de la carpeta, según le sea indicado. Se continuará trabajando con el estudio de caso de Nicaragua, tal como se trabajó en la metodología GLOBIO. Para instalar el programa siga los siguientes pasos:

- Cree una carpeta llamada *Practica\_Clue\_Nicaragua* en su disco C.
- Copie el archivo *setupdemo.zip* de la carpeta del CD. Ábralo y extraiga los archivos a su carpeta. Inicie la instalación, ejecutando el archivo *SETUPEXE*. Este archivo instalará la versión demo del CLUE. Cuando se le solicite especificar un directorio de instalación, defina el directorio *Practica\_Clue\_Nicaragua*.
- Una vez instalado el programa, copie el archivo *clues.exe* de la carpeta del CD y péguelo en su carpeta, sustituyendo la versión demo que allí se encuentra. El demo sólo le permite ejecutar simulaciones de casos de cierta extensión limitada. Ahora tendrá instalada la versión completa y podrá trabajar un caso con la extensión de Nicaragua.

Para ejecutar una simulación con el programa CLUE es necesario tener una serie de archivos de los determinantes de los usos futuros de suelo (ver sección CLUE - Conceptos), con los nombres y el formato correcto en el directorio. Los archivos que necesita y sus nombres son los siguientes:

### Directorio CLUE

Archivos Iniciales		
<i>cov_all.0</i>	Mapa original de uso de suelo	Representa la distribución de los usos de suelo en el año de inicio o año 0 de la simulación.
<i>sc1gr*.fil</i>	Mapas de factores de presión	Características de la ubicación, tales como precipitación, elevación, distancia a los ríos, etc. * Representa el número asignado a cada factor.
<i>region_**.fil</i>	Mapas de áreas de restricción	Políticas y restricciones espaciales como áreas protegidas o zonas de desarrollo. ** Representa cualquier nombre descriptivo.
<i>demand.in*</i>	Tabla(s) de demanda	Demanda de uso de suelo en los distintos escenarios de simulación posible. * Representa el número asignado a cada tabla de demanda.
Archivos a Modificar		
<i>allow.txt</i>	Matriz de conversión	Características de conversión según las secuencias de transición. Se edita desde la interfase del usuario.
<i>main.1</i>	Parámetros principales	Parámetros que se necesitan definir para la ejecución del programa. Se editan desde la interfase del usuario.
<i>cov1_*.0</i>	Mapas de cada uso de suelo	Mapas binarios que se utilizan para obtener la regresión de cada uso de suelo. * Representa el número asignado a cada uso de suelo.
<i>alloc1.reg</i>	Resultados de la regresión	Contiene los resultados significativos de la regresión para cada uso de suelo. Se edita desde la interfase del usuario.

**Directorio CLUE** (continuación)

<b>Archivos de Respaldo</b>		
<i>Readthis1.txt</i>	Listado de códigos de archivos	Archivo de referencia con los significados de los códigos de los usos de suelo y los factores.
<i>log.fil</i>	Archivo de registros	Registra todos los eventos ocurridos durante la simulación.
<b>Archivos de Conversión de Datos para la Regresión</b>		
<i>convert.exe</i>	Programa de conversión de datos	Convierte una muestra de la información de los mapas a un formato exportable a SPSS.
<i>names.txt</i>	Nombres de archivos	Lista de los nombres de los archivos que se incluyen en la conversión.
<i>convert.log</i>	Resumen de la conversión	Registra todos los eventos ocurridos durante la conversión.
<i>stat.txt</i>	Resultado de la conversión	Registra el resultado de la conversión. Su contenido se exporta a SPSS.

Como los archivos que se han instalado en su directorio son los correspondientes al demo (no al caso de Nicaragua), deberá ir sustituyéndolos progresivamente por los archivos que se encuentran en el disco compacto o por archivos generados por usted mismo.

**Preparación de los factores de presión**

Todos los mapas que se utilicen en el CLUE deben tener exactamente el mismo número de filas y columnas, de lo contrario el programa no logrará correr. Para facilitar esto, se utiliza, como se hizo en el Tutorial del GLOBIO, un archivo máscara (ver *Configuración Inicial* en Impacto por Cobertura/Usos de Suelo, de la sección GLOBIO Tutorial).

Los factores de presión deben tener también la misma configuración de la máscara. Además, los mapas originales que se encuentran disponibles en los sistemas de información suelen necesitar procesamiento o transformaciones antes de poder utilizarlos como factores de presión. Para el caso de Nicaragua, se trabajarán los factores de elevación, precipitación, pendiente, distancia a ríos, densidad poblacional y distancia a carreteras. En la carpeta *Factores*, contenidos en el disco compacto, encontrará los *shapes* de los factores, cópielo en su directorio *Practica\_Clue\_Nicaragua*. En esta sección se mostrará cómo procesar estos mapas.

**Elevación**

- Con el menú **3D Analyst/ Create-Modify TIN/ Create TIN from features**, genere un TIN a partir del *shape elevation*. Defínalo de la siguiente forma:

Layers: *elevacion*  
 Height source: *Elevation*  
 Triangulate ass: *mass points*

Tag value field: *Elevation*

Output TIN: *tin\_elev*

- Con el menú **3D Analyst/Convert/TIN to Raster** convierta a *raster* el TIN *tinelev*. Defínalo así:

Input tin: *tin\_elev*

Attribute: *Elevation*

Z factor: 1.0000

Cell size: 500 (verifique el número de filas y columnas)

Output: *rast\_elev*

- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo **mask** de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial; utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster rast\_elev*.

- Con el *Raster Calculator* recorte el *raster*, utilizando la función *extrac*:

*extrac* = Int([*tingrid*])

- Aunque el archivo vaya multiplicándose automáticamente con la máscara, puede que queden algunos espacios vacíos en el archivo original. Para que las celdas del archivo coincidan exactamente con la máscara se utiliza la función *Allocation*. Utilice el menú **Spatial Analyst/Distance/Allocation**. Configúrelo de la siguiente manera:

Assign to: *extrac*

Maximum distance: 100000

Output cell size: 500

Output *raster*: *alloc\_elev* (recuerde guardar en el directorio *Factores*)

- Convierta el archivo a formato ASCII con el *Conversion Tools*. A lo que resulte dele el nombre de *sc1gr0*.

## Precipitación

- En una nueva vista, con el menú **Spatial Analyst/Convert/ Feature to Raster**, convierta a *raster* el shape *precipitación*. Defínalo así:

Input features: *precipitacion*

Field: Precipitac

Cell size: 500

Output: *rast\_pp*

- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo *mask* de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial, utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster rast\_pp*.



- Para que las celdas del archivo coincidan exactamente con la máscara, también será necesario ejecutar un *Allocation*. Utilice el menú **Spatial Analyst/Distance/Allocation**. Configúrelo como en el caso anterior. Dé al resultado el nombre de *alloc\_pp*.
- Convierta el archivo a ASCII con el *Conversion Tools*. Dé al resultado el nombre de *sc1gr1*.

**Pendiente**

- En una nueva vista, con el menú **Spatial Analyst/Convert/Feature to Raster** convierta a *raster* el shape *pendiente*. Defínalo así:  
 Input features: *pendiente*  
 Field: Slope  
 Cell size: 500  
 Output: *rast\_pend*
- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo *mask* de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial, utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster rast\_pend*.
- Para que las celdas del archivo coincidan exactamente con la máscara, también será necesario ejecutar un *Allocation*. Utilice el menú **Spatial Analyst/Distance/Allocation**. Configúrelo como en el caso anterior. Dé al resultado el nombre de *alloc\_pend*.
- Convierta el archivo a ASCII con el *Conversion Tools*. Dé al resultado el nombre de *sc1gr2*.

**Distancia a ríos**

- En una nueva vista, con el menú **Spatial Analyst/Convert/ Feature to Raster**, convierta a *raster* el shape *rios*. Defínalo así:  
 Input features: *rios*  
 Field: RIOS\_NIC\_I  
 Cell size: 500  
 Output: *rast\_rios*
- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo *mask* de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial, utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster rast\_rios*.
- Para calcular la distancia a los ríos, utilice la función *Straight line* en el menú **Spatial Analyst/Distance**. Defínalo así:  
 Distance to: *rast\_rios*  
 Maximum distance: 0  
 Output cell size: 500  
 Output raster: *dist\_rios*
- Convierta el archivo a ASCII con el de *Conversion Tools*. Dé al resultado el nombre de *sc1gr3*.

## Densidad poblacional

- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo *mask* de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial, utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster dens\_pob*.
- Para que las celdas del archivo coincidan exactamente con la máscara, también será necesario ejecutar un *Allocation*. Utilice el menú ***Spatial Analyst/Distance/Allocation***. Configúrelo como en los casos anteriores. Dé al resultado el nombre de *alloc\_dens*.
- Convierta el archivo a ASCII con el *Conversion Tools*. Dé al resultado el nombre de *sc1gr4*.

## Distancia a carreteras

- En una nueva vista, con el menú ***Spatial Analyst/Convert/Feature to Raster*** convierta a *raster* el shape *red\_vial*. Defínalo así:

Input features:	<i>red_vial</i>
Field:	TIPO
Cell size:	500
Output:	<i>rast_redv</i>

- Abra una vista nueva en ArcMap. Cargue el archivo *mask* de la carpeta *Factores* y configure su *Spatial Analyst*, como se explicó anteriormente al inicio de la sección GLOBIO - Tutorial, utilice el directorio C:\Practica\_Clue\_Nicaragua\Factores. Cargue ahora el *raster rast\_redv*.
- Para que las celdas del archivo coincidan exactamente con la máscara también será necesario ejecutar un *Allocation*. Utilice el menú ***Spatial Analyst/Distance/Allocation***. Configúrelo como en el caso anterior. Dé al resultado el nombre de *alloc\_redv*.
- Convierta el archivo a ASCII con el *Conversion Tools*. Dé al resultado el nombre de *sc1gr5*.

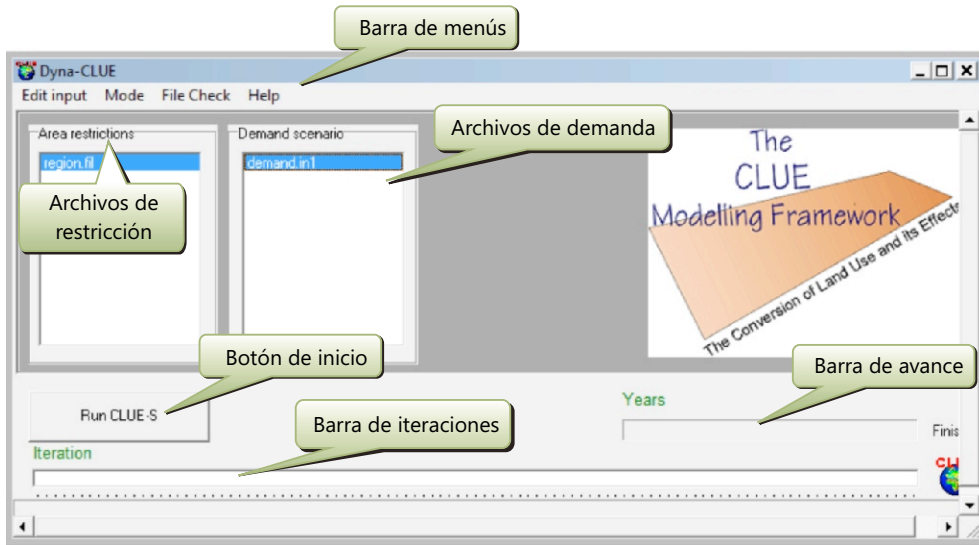
Una vez que todos los mapas estén listos, puede guardarlos. Verifique que tengan la proyección correcta y cópielos al directorio de CLUE después de haber eliminado los archivos *sc1gr\** existentes (mantenga los originales en la carpeta *Factores* como respaldo). En el directorio de CLUE, cambie las extensiones de los archivos de *.txt* a *.fil*. Si recibe un aviso preguntando si está seguro de que desea cambiar la extensión seleccione Sí. Una vez cambiada la extensión no podrá abrir el archivo, pero esta es la extensión que necesita para que corra el modelo.

## Ejercicio 1: Introducción a la interfase del usuario y la simulación

El primer paso para trabajar con el modelo CLUE será familiarizarse con la interfase del usuario. Una vez que tenga los archivos en el directorio con el formato correcto y haya definido correctamente los parámetros, hacer correr el programa será una operación sencilla. En esta sección aprenderá cómo incorporar los archivos y los parámetros a la interfase del usuario y cómo ejecutar una simulación.

**Procedimiento:**

- Abra el programa dando doble clic en el archivo *clue.exe* que se encuentra en su directorio *Practica\_Clue\_Nicaragua*, o abriéndolo directamente desde el menú Inicio. La interfase del usuario tiene los siguientes componentes:



La interfase le permite cargar y/o modificar los insumos para la ejecución del modelo. En las ventanas *Area restrictions* y *Demand scenarios* se muestran todos archivos de áreas de restricción o de tablas de demanda respectivamente, que en ese momento se encuentren en el directorio. Al crear nuevos archivos con el nombre *region\_\*.fil* o *demand.in\** y abrir de nuevo el programa encontrará que los archivos se han agregado a estas listas. Para ejecutar una simulación debe tener seleccionado el archivo de restricción y el archivo de demanda con el cual quiera trabajar.

En la parte superior de la interfase podrá ver cuatro menús. El menú **Edit Input** le permite editar los insumos necesarios para ejecutar una simulación e incluye las siguientes opciones:

Opción	Descripción
Main parameters	Permite editar los parámetros principales. Se vincula con el archivo <i>main.1</i> .
Regression results	Permite editar los resultados de las regresiones. Se vincula con el archivo <i>alloc1.reg</i> .
Change matrix	Permite editar la matriz de conversión. Se vincula con el archivo <i>allow.txt</i> .
Neighborhood settings	Permite editar las configuraciones de vecindades. Se vincula con el archivo <i>neighmat.txt</i> .
Neighborhood results	Permite editar los resultados de las regresiones de vecindades. Se vincula con el archivo <i>alloc2.reg</i> .

Todas estas opciones se pueden editar directamente en la ventana de la interfase del usuario y dando clic en *Save* o editando los archivos a los que están vinculados al cambiar la extensión de los mismos a *.txt* (recuerde que para poder correr el modelo una vez hechos los cambios, debe regresar los archivos a su extensión original).

El menú **Mode** le permite seleccionar el modo de ejecución de las simulaciones e incluye las opciones:

Opción	Descripción
Calculate probability maps	Calcula los mapas de probabilidad de ocurrencia de cada uno de los tipos de uso de suelo para el primer año de la simulación.
Prepare probability maps	Calcula los mapas de probabilidad para todos los años de la simulación.
Meta-model run	Ejecuta la simulación basada en los mapas de probabilidad preparados con la opción anterior. Agiliza el tiempo de simulación y es útil para realizar ejecuciones repetidas o análisis de sensibilidad.

Si no se selecciona ninguna de las opciones de este menú, entonces se ejecuta una simulación normal, sin generar mapas de probabilidad.

El menú **File Check** le permite activar la opción de *File Check on*, el cual verifica el estado de los archivos de insumo en busca de errores potenciales. El menú **Help** le permite consultar el manual de Ayuda del CLUE para ampliar su información sobre varios aspectos del modelo. Aunque la información sólo se encuentra disponible en inglés, es aconsejable revisar esta sección, pues explica con mayor profundidad los temas de su interés.

Para completar su primer simulación en CLUE es necesario cambiar los valores de los parámetros que trae predeterminados la versión demo del CLUE, por los valores de los parámetros del caso de Nicaragua, aplicando los siguientes pasos:

### **Modifique el archivo de referencia**

Para tener un registro y guía de lo que significan los códigos de sus archivos, resulta conveniente guardar los nombres en el archivo *Readthis1.txt*. Este archivo se mantiene sólo como archivo de referencia y en este caso su formato no tiene importancia, mientras pueda ser de compresión general (más adelante se dará cuenta que los demás archivos necesitan un formato predeterminado para ejecutar correctamente una simulación).

- En su directorio del disco C, abra el archivo *Readthis1.txt* y elimine el contenido que pueda haber en él.
- Copie los códigos y significados de sus usos de suelo, comenzando la numeración desde 0. Para el caso de Nicaragua, los códigos y significados son los siguientes:
  - 0 Bosque primario
  - 1 Bosque secundario
  - 2 Agroforestería
  - 3 Agricultura extensiva

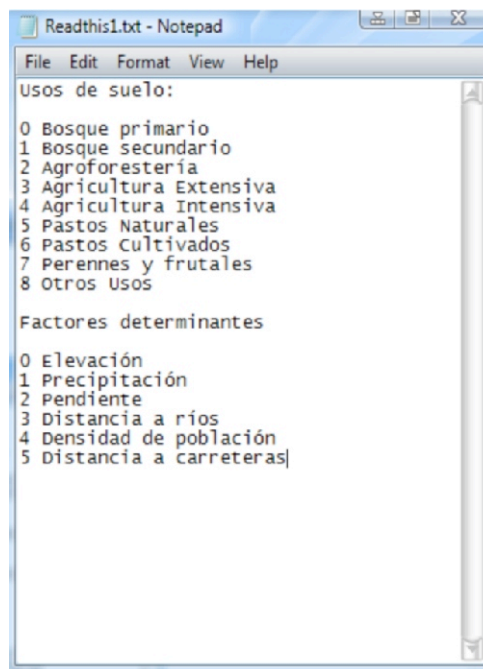


- 4 Agricultura intensiva
- 5 Pastos naturales
- 6 Pastos cultivados
- 7 Perennes y frutales
- 8 Otros usos

- Copie los códigos y significados de sus factores de presión, comenzando también la numeración desde 0. Los factores son los archivos *sc1gr\** que usted generó. Los códigos deberían ser los siguientes:

- 0 Elevación
- 1 Precipitación
- 2 Pendiente
- 3 Distancia a ríos
- 4 Densidad de población
- 5 Distancia a carreteras

- Guarde los cambios al finalizar.



**Modifique los parámetros de regresión**

- En la interfase del usuario vaya al menú **Edit input/Main parameters**. En este menú cada una de las líneas representa un parámetro específico.

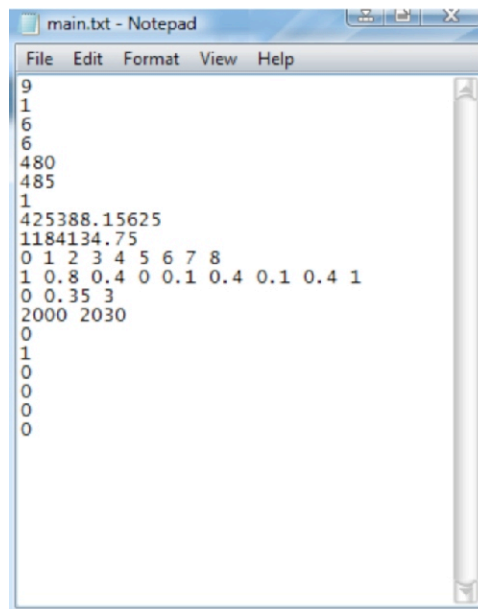
Línea	Descripción	Formato
1	Número de tipos de uso de suelo	Enteros
2	Número de regiones	Enteros
3	Número máximo de variables independientes en una ecuación de regresión	Enteros
4	Número total de factores de presión	Enteros
5	Número de filas	Enteros
6	Número de columnas	Enteros
7	Área de celda	Punto flotante
8	Coordenada X	Punto flotante
9	Coordenada Y	Punto flotante
10	Códigos de los tipos de uso de suelo	Enteros
11	Valores de las elasticidades de conversión	Punto flotante
12	Variables de iteración	Punto flotante
13	Año de inicio y finalización de la simulación	Enteros
14	Número y código de los factores de presión dinámicos	Enteros
15	Selección del formato de los archivos de resultado	1, 0, -2 ó 2
16	Selección de la modalidad de regresiones específicas por región	0, 1 ó 2
17	Selección del modo de inicio de la historia de uso de suelo	0, 1 ó 2
18	Selección del cálculo de vecindad	0, 1 ó 2
19	Adición de las preferencias específicas de ubicación	Enteros
20	Parámetro de iteración opcional	Punto flotante

La configuración inicial de estos parámetros, para el caso de Nicaragua, ya está definida en el archivo *main.txt* de la carpeta del disco compacto.

- Copie este archivo a su directorio, sustituyendo el que allí existe, utilizando el mismo nombre. Ábralo y podrá ver su configuración en un archivo de texto.

Puede observar, por ejemplo, que para el caso de Nicaragua existen:

- 9 usos de suelo
- 1 región
- 6 factores de presión
- 6 también es el máximo de variables significativas que se encontraron en una regresión
- 480 filas y 485 columnas en todos los archivos *raster* que se utilizaron
- un área equivalente a 1 km<sup>2</sup> en cada celda o pixel
- codificación del 0 al 8 de los tipos de uso de suelo
- un valor de elasticidad de 1 para el primer uso de suelo, 0.8 para el segundo y así sucesivamente
- la simulación se realiza del año 2000 (año 0) al año 2030

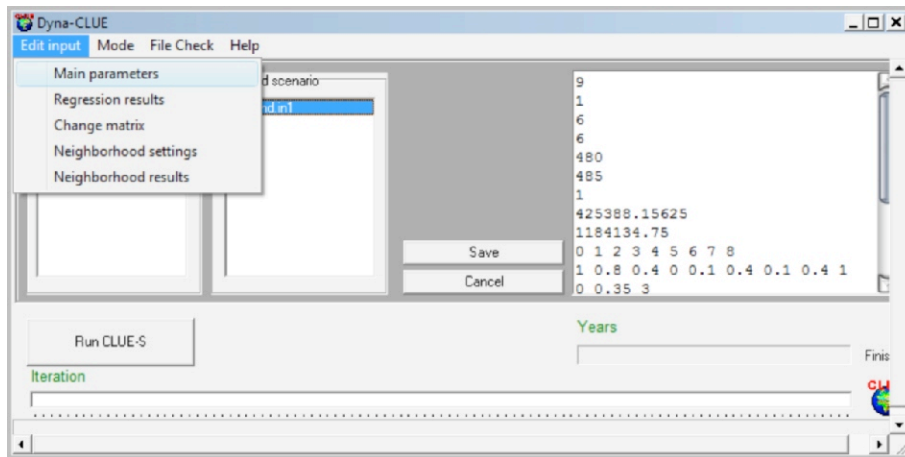


```
main.txt - Notepad
File Edit Format View Help
9
1
6
6
480
485
1
425388.15625
1184134.75
0 1 2 3 4 5 6 7 8
1 0.8 0.4 0 0.1 0.4 0.1 0.4 1
0 0.35 3
2000 2030
0
1
0
0
0
0
0
```

Las demás opciones están seleccionadas en su modalidad predeterminada (por defecto). Más adelante se le explicará cómo se pueden variar estos parámetros.

**Nota:** Hay versiones del programa que trabajan con otras unidades de área (hectáreas en vez de km<sup>2</sup>). Si descarga el programa de otra fuente, verifique su versión así como las unidades de trabajo antes de comenzar a utilizarlo.

- Cierre el archivo y cambie su extensión de *.txt* a *.1* (uno).
- Vuelva a abrir el menú **Main parameters** de la interfase del CLUE y verifique que se han cargado los nuevos valores. Si tiene problemas con esto, vuelva a abrir la interfase y verifique nuevamente.



### Modifique los resultados de la regresión

- Vaya ahora al menú **Edit input/Regression results**.

En este menú, cada una de las líneas representa un parámetro específico de la regresión.

Línea 1 Código del uso de suelo

Línea 2 Constante de la ecuación de regresión para ese uso de suelo

Línea 3 Número de factores de presión significativos en la ecuación

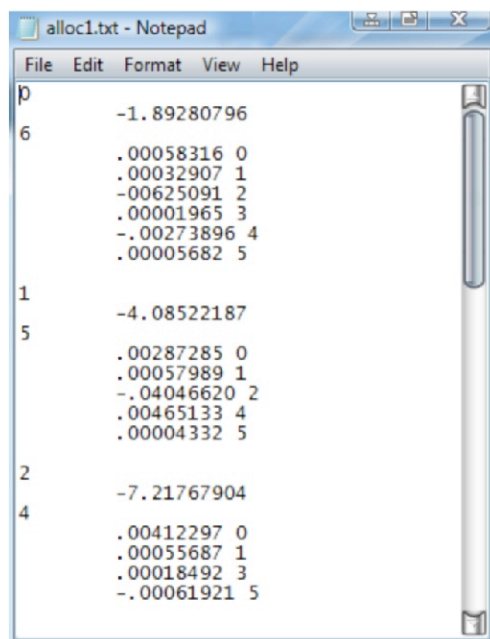
Línea 4 en adelante En cada línea, el valor del coeficiente  $\beta$  y el código de los factores de presión significativos en la ecuación

Los resultados preliminares de la regresión, para el caso de Nicaragua, ya están definidos en el archivo *alloc1.txt* de la carpeta del disco compacto.

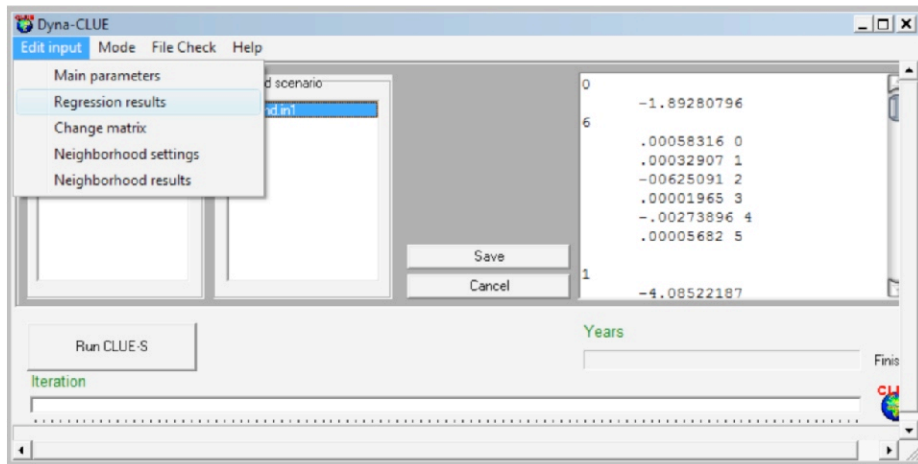
- Copie este archivo a su directorio, sustituyendo el que allí, existe utilizando el mismo nombre. Ábralo y podrá ver su configuración en un archivo de texto.

Puede observar, por ejemplo, que para el caso de Nicaragua:

- El bosque primario (código 0) tiene una constante de regresión de -1.89280796
- Los seis factores de presión resultaron significativos en su regresión
- El factor que tuvo mayor peso fue la pendiente (código 2) con un coeficiente de -.00625091



- El bosque secundario (código 1) tiene una constante de regresión de -4.08522187
- En el uso de agroforestería (código 2) sólo cuatro de los factores de presión resultaron significativos en su regresión
- Esto corresponde a los factores de elevación, precipitación, distancia a ríos y distancia a carreteras (códigos 0, 1, 3 y 5 respectivamente)
- Cierre el archivo. En este caso no es necesario realizar cambios de extensión.
- Vuelva a abrir el menú **Regression results** de la interfase del CLUE y verifique que se hayan cargado los nuevos valores.



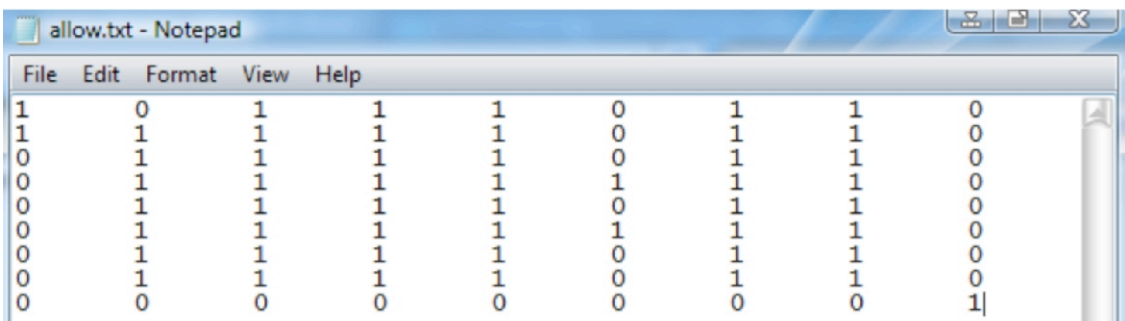
### Modifique la matriz de conversión

- Vaya al menú **Edit input/Change Matrix**.

Recuerde de la sección CLUE - Tutorial, que la matriz de uso de suelo muestra las conversiones de un uso a otro, que resultan o no posibles para todos los cruces de usos de suelo.

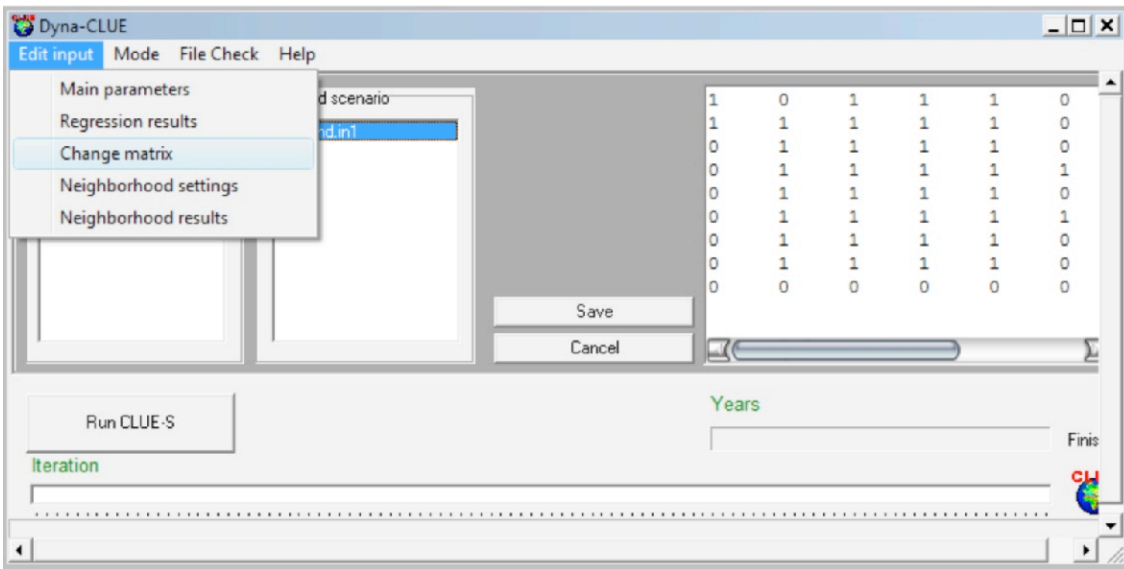
La matriz de conversión para el caso de Nicaragua ya está definida en el archivo *allow.txt* de la carpeta del disco compacto.

- Copie este archivo a su directorio, sustituyendo el que allí existe con el mismo nombre. Ábralo y podrá ver su configuración en un archivo de texto.



Puede observar, por ejemplo, que para el caso de Nicaragua:

- La conversión de bosque secundario a bosque primario es posible.
  - Ningún otro uso de suelo puede convertirse directamente a bosque primario.
  - Todos los usos de suelo pueden convertirse en agricultura intensiva o extensiva, excepto la clase "otras".
- Cierre el archivo. No es necesario realizar cambios de extensión en este caso.
  - Vuelva a abrir el menú **Change matrix** de la interfase del CLUE y verifique que se han cargado los nuevos valores.



**Nota:** Como se ha observado, los menús de parámetros principales, resultados de regresión y la matriz de conversión están vinculados con archivos que se encuentran en el directorio y cuando necesite modificarlos podrá hacerlo de la siguiente manera:

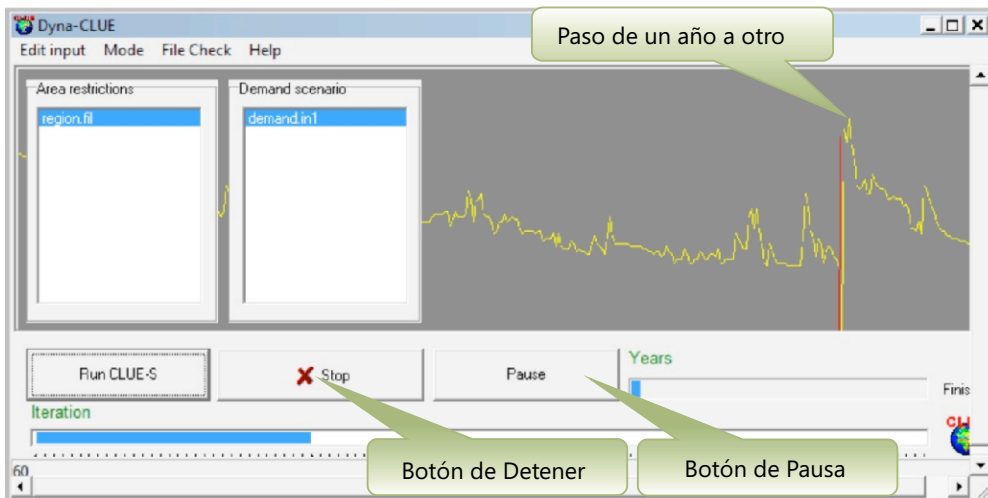
- Directamente desde la interfase del usuario.
- Editando los archivos vinculados (cambiando primero la extensión a .txt).
- Generando un nuevo archivo vinculado y sustituyéndolo en el directorio.

Recuerde la importancia de mantener los nombres y las extensiones correctas.

Las configuraciones de vecindad o proximidad (*Neighborhood settings*) se utilizan para introducir, en la determinación de los usos futuros de suelo de una ubicación, la influencia de los usos de las ubicaciones vecinas. Por ejemplo, las ubicaciones con bosque primario cercanas a las de asentamientos humanos tienen más probabilidad de ser convertidas a agricultura que las de bosque primario rodeadas de bosque primario. A través de las configuraciones *Neighborhood settings* y *Neighborhood results* se mide y se introduce esta influencia. Sin embargo, esta opción no será explorada en este manual.

### **Ejecute la simulación**

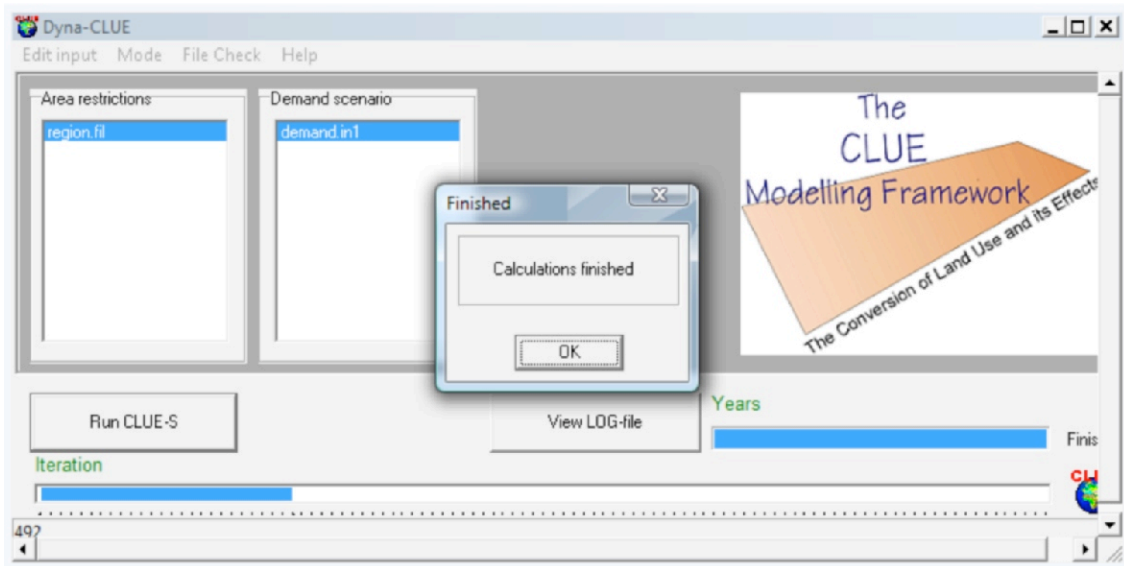
- Copie los archivos *region.fil* y *demand.in1* a su directorio, sustituyendo los allí existentes. Abra la interfase del usuario y verifique que se hayan cargado el menú *Area restrictions* y *Demand scenario*.
- Seleccione los archivos de *region.fil* y *demand.in1*.
- Active la opción de verificación de archivos en *File Check/File Check on*. Deje sin marcar las opciones de *Mode*.
- Ahora que todas sus opciones están marcadas, haga clic en el botón *Run CLUE-S* (véase la imagen siguiente).



La simulación dará inicio mostrando un gráfico del progreso en la pantalla. La barra de *Years* muestra los años de avance de la simulación. La barra inferior *Iteration* indica el nivel de error calculado en cada uno de los intentos de acomodar la demanda, según los parámetros y el nivel de error tolerable. En la parte inferior se muestra el conteo de las repeticiones. El programa intentará acomodar la demanda, según el nivel de error tolerable hasta un total de 2000 iteraciones. Cuando alcance la solución de un año, pasará al año siguiente y el conteo de las iteraciones se reinicia. Si al alcanzar las 2000 repeticiones no ha encontrado solución, el programa producirá Error y deberá probar reajustar algunos de sus parámetros, antes de volver a ejecutar la simulación.



Al finalizar los años de la simulación, el programa dará el aviso de *Calculations finished*. Entonces presione Ok.



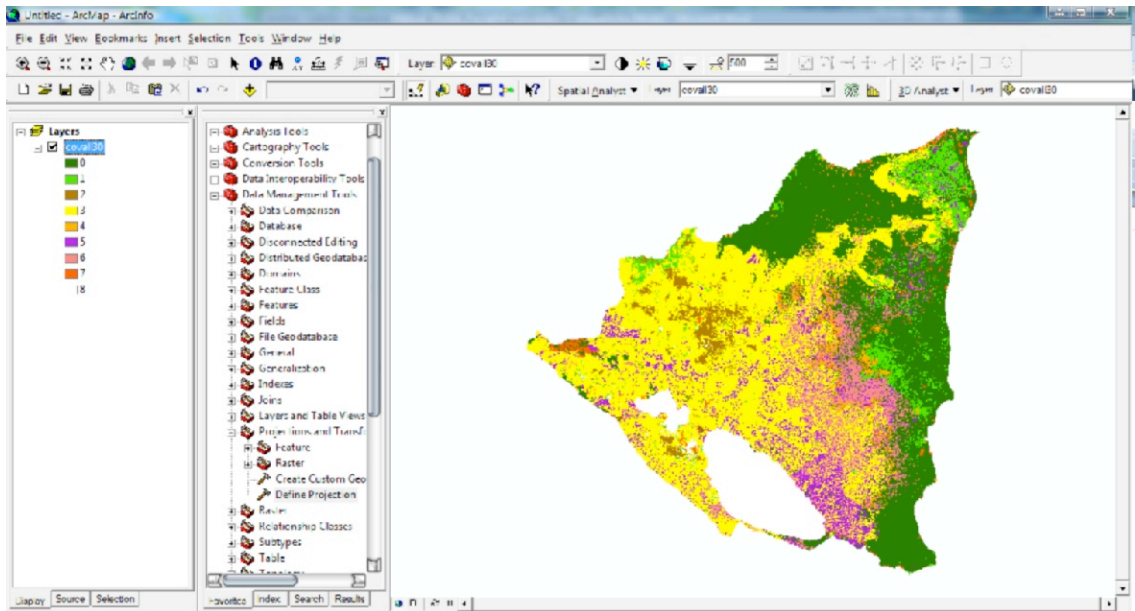
**Presentación de los resultados en ArcGIS**

En su directorio de CLUE encontrará dos series de archivos que se han generado: *cov\_all.\** y *age.\**, para cada uno de los años de la simulación. Los archivos *age.\** son mapas que muestran la edad de cada ubicación bajo un uso de suelo en un año determinado. Usualmente sólo se utilizan como insumo para los elementos dinámicos de la simulación y no se muestran como resultado. Los archivos *cov\_all.\** son los mapas de uso futuro de suelo. Estas series de archivos se reescribirán en el directorio, cada vez que ejecute una nueva simulación (como el modelo los genera con el mismo nombre, sustituye a los ya existentes). Entonces, se recomienda siempre copiar los resultados que desee conservar en una carpeta aparte del directorio.

Para presentar los resultados en ArcGIS:

- Cambie la extensión de los archivos que desea comparar a *.txt*. Tome, por ejemplo, los archivos *cov\_all.0* y *cov\_all.30*, para comparar el año de inicio y el año final de la simulación. Puede llamarlos *cov\_all.0.txt* y *cov\_all.30.txt*. Si lo necesita, puede comparar también el resultado de años intermedios de la simulación, aunque lo usual es comparar entre los años de inicio y los de finalización.
- En el ArcGIS, transforme los archivos a *raster*, utilizando la opción *Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster*. Puede cambiar la paleta de colores de los usos por otra más adecuada (véase la primer imagen de la siguiente página).

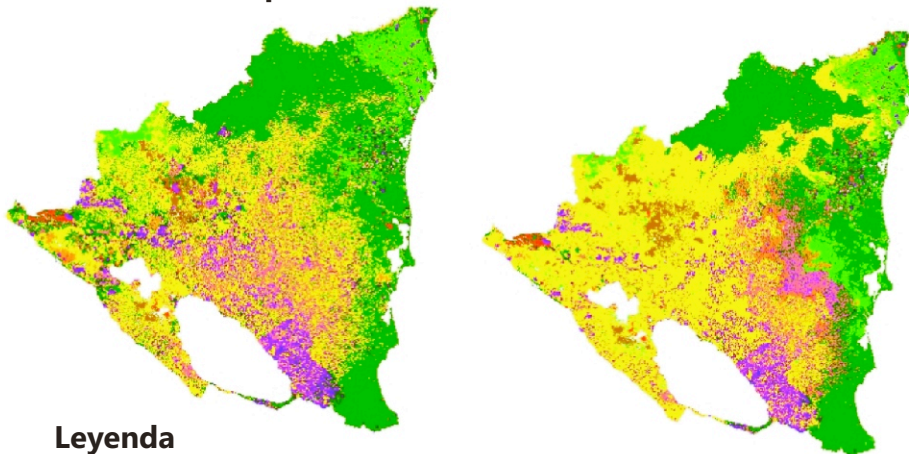













- Observe la diferencia entre el año 0 y el último año de la simulación. Qué diferencias destacan y dónde se ubican. Analice a qué factores se pueden atribuir y cómo puede explicar estas diferencias.

Ahora puede darle el formato de mapa que desee y presentar sus resultados.

### Mapas de Uso de Suelo 2000 - 2030



#### Leyenda

 Agricultura Extensiva	 Bosque Primario	 Pastos Cultivados
 Agricultura Intensiva	 Bosque Secundario	 Pastos Naturales
 Agroforestería	 Otros Usos	 Perennes y Frutales

0 30 60 120 180 240  
Kilometers

Recuerde que el archivo *cov\_all.0* es el mapa de uso de suelo del año base y se utiliza como insumo para la simulación. Si lo convierte a *.txt* para compararlo y luego desea ejecutar otras simulaciones, no olvide cambiar la extensión de nuevo a *.0*, para que el programa pueda correr adecuadamente.

## Errores en la simulación

En la interfase del usuario del modelo CLUE no es posible identificar directamente las causas de errores en una simulación. Si el programa le presenta errores, deberá revisar las fuentes más comunes de los mismos, dependiendo de los avisos que obtenga. Entre los avisos más comunes se encuentran:

### **Error For more information see 'log.fil'**

Si obtiene este error, abra el archivo de registro *log.fil*, que se ha generado en su directorio (cambiando la extensión a *.txt*) y verifique por qué pudo haber sido interrumpida la simulación. Este archivo registra todas las acciones que se suceden en una simulación y mostrará en qué punto fue interrumpida. Este aviso suele indicar que existe un error en alguno de los archivos de insumo. Revise que sus archivos tengan las extensiones correctas y que los parámetros principales hayan sido introducidos en el orden adecuado.

### **Exp: 'OVERFLOW error'**

Este aviso suele estar relacionado con un error en los mapas o en los resultados de la regresión. Pruebe una de las siguientes opciones:

- Que todos sus archivos de mapas ASCII (*.txt*) tengan exactamente el mismo número de celdas que su máscara o región.
- Revise que haya introducido correctamente los resultados de la regresión en el archivo *alloc1.reg*.
- Verifique el no haber sobrepasado alguno de los límites del número de archivos que soporta su versión del programa.

### **No solution found**

Este error ocurre cuando la simulación alcanza las 2000 iteraciones en un año, sin encontrar solución. Puede estar relacionado con las siguientes causas a verificar:

- Los requerimientos de la tabla de demanda sobrepasan su disponibilidad de área. Verifique que la suma de los usos de suelo corresponda al área total del mapa de uso de suelo y que la tabla de demanda esté en las mismas unidades que la extensión de las celdas.
- Las restricciones no permiten satisfacer los requerimientos de área. Verifique que las restricciones no se contradigan severamente con los requerimientos que se han definido. Por ejemplo, tiene una gran cantidad de bosque en zonas restringidas pero en su tabla de demanda el bosque disminuye significativamente con el tiempo.

- Sus condiciones en la matriz de conversión no permiten satisfacer sus requerimientos de área para ese año. Verifique que las secuencias de transición, incluidos los tiempos mínimos y máximos condicionados, sean coherente con la tabla de demanda.
- Revise siempre el archivo *log.fil* para verificar irregularidades en los archivos y parámetros iniciales.

**Nota:** La no solución de una ejecución suele ocurrir cuando se observa un nivel constante y prolongado en el error de las iteraciones en la vista de la interfase. Si esto ocurriera, puede detener la simulación (sin esperar llegar a las 20000 iteraciones) y comenzar a revisar sus archivos.

## Ejercicio 2: Simulación de diferentes escenarios

Dado que Ud. ya es capaz de manejar la interfase del usuario, el siguiente paso es aprender cómo generar diferentes escenarios de cambios en los usos de suelo y comparar los resultados. Se explorarán las siguientes cuatro condiciones generales de cambios para los escenarios: en la tabla de demanda, en las políticas de restricción, en la matriz de conversión y en las elasticidades.

### 2.1. Escenarios con distintas tablas de demanda

Como se estudió en la sección CLUE - Tutorial, la tabla de demanda muestra los requerimientos de área de cada uso de suelo, para cada uno de los años de la simulación. En otras palabras, muestra la distribución del área total del país o región para cada año entre todos los usos de suelo. CLUE se encarga de distribuir estos requerimientos en sus áreas de mayor probabilidad de ocurrencia, a través de la modelación dinámica.

En este ejercicio se aprenderá cómo se integran los escenarios o condiciones particulares de un país en una tabla de demanda y cómo diferentes escenarios de demanda afectan los resultados finales.

#### Procedimiento:

- Busque en la carpeta del disco compacto los archivos *demand.in2* y *demand.in3*. Cópielos y péguelos en su directorio de CLUE.

Estos archivos son las tablas de demanda para distintos escenarios:

- *demand.in1* Muestra un escenario de continuación de las tendencias actuales. Se recopiló información sobre las tasas de incremento o disminución de los distintos usos de suelo en los últimos años y se proyectaron esas tasas a los próximos 30 años. El bosque disminuye a raíz de una extensión en la agricultura intensiva y extensiva, y la ganadería.
- *demand.in2* Muestra un escenario de la entrada de Nicaragua a los tratados de libre comercio (TLC). Aumenta el área de los principales rubros de exportación y se intensifica la agricultura.



- *demand.in3* Muestra un escenario de conservación con la implementación de una política de reforestación, con aumentos en las áreas de bosque, agroforestería y plantaciones.
- Abra en un editor de texto los archivos de demanda (cambiando la extensión a '.txt'). Analice las diferencias entre ellos.

El formato de estos archivos consiste en una primera línea con el número de años a simular, incluyendo el año 0, seguida de filas de datos. Hay una fila por cada año y una columna por cada uso de suelo. La primera columna corresponde al primer uso de suelo (código 0), la segunda pertenece al segundo uso (código 1) y así sucesivamente. Esto quiere decir, por ejemplo, que en el archivo *demand.in1* el área original de bosque primario es de 51155 km<sup>2</sup>. En el año 1, este requerimiento es de 50695 km<sup>2</sup>, esto no significa que se requiera menos bosque, sino que en el país se prioriza la demanda de otros usos. La tabla puede ser construida más fácilmente en Excel y luego se copia a un editor de texto, sin los encabezados de filas ni de columnas.

Year	Use 0	Use 1	Use 2	Use 3	Use 4	Use 5	Use 6	Use 7
31								
51155	5230	2062	37654	947	10438	11295	1285	10475
50695	5301	2102	38044	1007	10385	11242	1290	10475
50235	5372	2142	38434	1067	10332	11189	1295	10475
49775	5443	2182	38824	1127	10279	11136	1300	10475
49315	5514	2222	39214	1187	10226	11083	1305	10475
48855	5585	2262	39604	1247	10173	11030	1310	10475
48395	5656	2302	39994	1307	10120	10977	1315	10475
47935	5727	2342	40384	1367	10067	10924	1320	10475
47475	5798	2382	40774	1427	10014	10871	1325	10475
47015	5869	2422	41164	1487	9961	10818	1330	10475
46555	5940	2462	41554	1547	9908	10765	1335	10475
46095	6011	2502	41944	1607	9855	10712	1340	10475
45635	6082	2542	42334	1667	9802	10659	1345	10475
45175	6153	2582	42724	1727	9749	10606	1350	10475
44715	6224	2622	43114	1787	9696	10553	1355	10475
44255	6295	2662	43504	1847	9643	10500	1360	10475
43795	6366	2702	43894	1907	9590	10447	1365	10475
43335	6437	2742	44284	1967	9537	10394	1370	10475
42875	6508	2782	44674	2027	9484	10341	1375	10475
42415	6579	2822	45064	2087	9431	10288	1380	10475
41955	6650	2862	45454	2147	9378	10235	1385	10475
41495	6721	2902	45844	2207	9325	10182	1390	10475
41035	6792	2942	46234	2267	9272	10129	1395	10475
40575	6863	2982	46624	2327	9219	10076	1400	10475
40115	6934	3022	47014	2387	9166	10023	1405	10475
39655	7005	3062	47404	2447	9113	9970	1410	10475
39195	7076	3102	47794	2507	9060	9917	1415	10475
38735	7147	3142	48184	2567	9007	9864	1420	10475
38275	7218	3182	48574	2627	8954	9811	1425	10475
37815	7289	3222	48964	2687	8901	9758	1430	10475
37355	7360	3262	49354	2747	8848	9705	1435	10475

Observe que la clase "otros usos" se mantiene constante en todos los años y escenarios. Usualmente esta categoría contiene las clases que no sufren cambios significativos (como áreas urbanas y cuerpos de agua) y los usos para los que no se cuenta con suficiente información para proyectar su cambio, bien sea porque no se ha encontrado o no se ha podido calcular.

- Restablezca las extensiones correctas de los archivos '.in\*'. Abra la interfase del usuario y verifique que los tres archivos de demanda se hayan cargado en el menú *Demand escenarios*.
- Ejecute una simulación con cada uno de los archivos *demand.in2* y *demand.in3*, manteniendo el resto de la configuración que utilizó en el constante Ejercicio 1.
- Compare los resultados finales de sus dos nuevas simulaciones entre sí y cotéjelo con el resultado de la simulación que realizó con la tabla *demand.in1*.

- Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados y la utilidad de las tablas de demandas para construir distintos escenarios.

## 2.2. Escenarios con Distintas Políticas de Restricción

Como se estudió en la sección CLUE - Tutorial, las políticas de restricción se integran al modelo a través de mapas (*region\_\*\*.fil*) que muestran las áreas donde aplica determinada política. En las áreas delimitadas en estos mapas el modelo no permite los cambios de usos de suelos porque se asume que se encuentran bajo protección.

En este ejercicio aprenderá cómo se pueden integrar las políticas espaciales de un país al modelo y cómo diferentes políticas de restricción afectan los resultados.

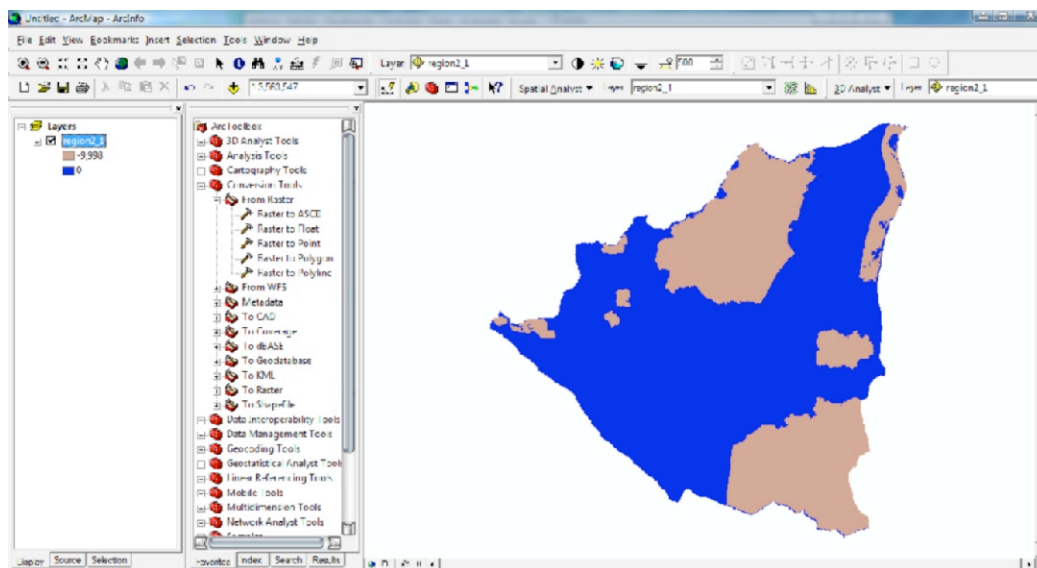
### Procedimiento:

- Busque en la carpeta del disco compacto el archivo *region\_ap.fil*. Cópelo y péguelo en su directorio de CLUE.

Usted dispondrá entonces de dos archivos de restricción para dos escenarios distintos:

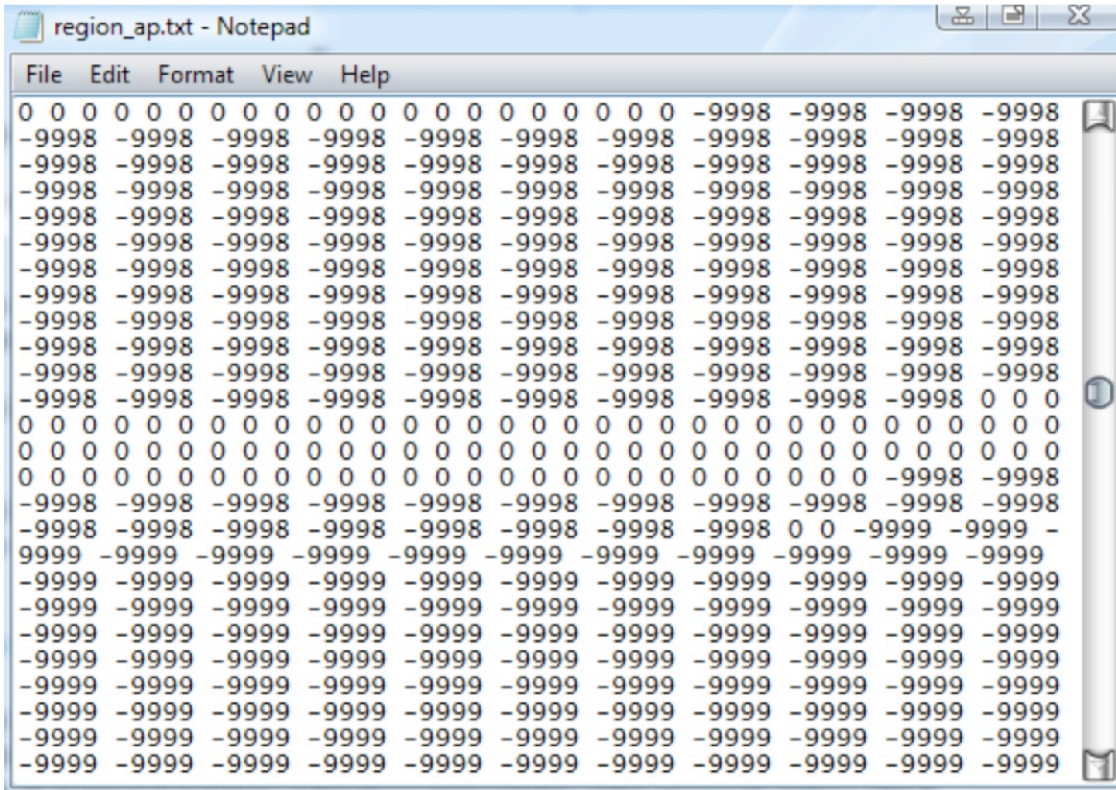
*region.fil* Es un mapa sin áreas de restricción. Se utilizó en la primera simulación (Ejercicio 1), bajo la suposición de que las áreas protegidas no están siendo efectivas en la restricción de los usos de suelo dentro de sus límites y que los cambios en los usos de suelos deben ser permitidos dentro de estas áreas, tal como sucede en la práctica.

*region\_ap.fil* Es el mapa de áreas protegidas de Nicaragua. Se utiliza bajo la suposición de que las áreas protegidas efectivamente restringen los cambios de uso de suelo dentro de sus límites y tienen un efecto de protección de los usos que en ellas se encuentran. El *raster* correspondiente se observa a continuación.





Los archivos *region\_\*\*.fil*, son mapas de áreas que han sido convertidos a *raster* con el mismo número de filas y columnas que todos los mapas que está utilizando en la simulación. Luego, fueron convertidos a archivos ASCII (.txt) y guardados en el directorio con los nombres y las extensiones correctas. Se asignan valores de -9998 en las áreas de restricción, 0 en el resto del área y -9999 como valor NoData.



- Analice las diferencias potenciales que podría haber en los resultados de usar estas dos restricciones.
- Abra la interfase del usuario y verifique que los dos archivos de restricción se hayan cargado en el menú *Area restrictions*.
- Ejecute una simulación con el archivo *region\_ap.fil*, manteniendo el resto de la configuración que utilizó en el Ejercicio 1 constante.
- Compare los resultados finales de su nueva simulación con el de la simulación que realizó con el archivo *region.fil*.
- Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados y la utilidad de los mapas para construir escenarios diferentes en cuanto a las políticas de restricción.

### 2.3. Escenarios con distintas características de conversión

Como estudió en la sección CLUE - Tutorial, una matriz de conversión muestra las conversiones entre un uso de suelo y otro que pueden o no ser posibles para todos los cruces de usos de suelo. Es una forma de representar las secuencias de transición posibles (naturales o intervenidas) entre un uso de suelo y otro.

En este ejercicio aprenderá cómo se pueden integrar las secuencias de transición de los usos de suelo de un país en una matriz de conversión y cómo diferentes secuencias afectan los resultados.

#### Procedimiento:

- Abra el archivo *allow.txt* de su directorio de CLUE. Éste es la matriz de transición que utilizó en la simulación del ejercicio 1.
- Analice las secuencias de transición integradas a esta matriz ¿Qué secuencia se tiene que seguir para pasar, por ejemplo, de agricultura intensiva a bosque primario? ¿de plantación a bosque? ¿de bosque a pasto?
- Cambie el nombre del archivo para tenerlo de respaldo. Por ejemplo, llámelo *allow\_ej1.txt*.
- Abra un archivo en Excel y coloque en los encabezados de las filas y las columnas los usos de suelo del mapa de Nicaragua.
- Genere una matriz de conversión distinta según su propia secuencia de transición artificial. Por ejemplo, una matriz donde todas las conversiones sean posibles o una matriz con muchas restricciones. Pruebe incorporar tiempos mínimos y máximos para permitir una conversión. Describa en un breve guión la lógica detrás de su secuencia.
- Copie los valores de la matriz en un archivo de texto sin los encabezados y guárdelo con el nombre de *allow.txt* en su directorio.
- Abra la interfase del usuario y verifique que su nueva matriz se haya cargado.

También pudo haber editado la matriz directamente desde la interfase del usuario, pero es recomendable que mantenga copia de sus archivos de texto o Excel separados y rotulados en sus registros, para facilitar el respaldo o la argumentación de los resultados de la simulación.

- Ejecute una simulación con su nuevo archivo *allow.txt* manteniendo el resto de la configuración que utilizó en el Ejercicio 1 constante.
- Compare los resultados finales de su nueva simulación con el resultado de la simulación que realizó con la matriz anterior.
- Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados y la utilidad de las matrices para integrar las distintas secuencias de transición.

### 2.4. Escenarios con distintas elasticidades de conversión

Tal como estudió en la sección CLUE - Tutorial, las elasticidades de conversión son una medida de qué tan fácil o difícil resulta cambiar un uso de suelo. Los usos de suelo difíciles de reubicar por





la alta inversión de tiempo o recursos que representa su instalación tienen un valor de elasticidad alto, mientras que los usos de suelos fáciles de reubicar tienen un valor de elasticidad bajo.

En este ejercicio aprenderá cómo se pueden integrar las elasticidades de conversión de los usos de suelo al modelo y cómo diferentes elasticidades afectan los resultados.

#### **Procedimiento:**

- Abra el menú ***Edit main parameters***.
- Analice elasticidades de conversión que utilizó en la simulación del Ejercicio 1 ¿Qué usos tienen los valores más altos o más bajos? ¿Por qué?
- Copie los valores del Ejercicio 1 en una hoja de Excel o en un archivo de texto para conservarlos. Ahora pruebe cambiar los valores de las elasticidades de transición.
- Guarde los cambios en el menú.
- Ejecute una simulación con sus nuevas elasticidades, manteniendo el resto de la configuración que utilizó en el Ejercicio 1 constante (recuerde restablecer la matriz del Ejercicio 1 en el archivo *allow.txt*).
- Compare los resultados finales de su nueva simulación con el resultado de su primera simulación.
- Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados y la utilidad de las elasticidades para estabilizar las ubicaciones de algunos usos de suelo (recuerde la estructura de la fórmula para calcular la probabilidad de ocurrencia de los usos de suelo en las ubicaciones).

### **Ejercicio 3: Realización del análisis de regresión**

En la sección CLUE - Tutorial aprendió que la influencia de las características particulares de la ubicación en la ocurrencia de los usos de suelo se determina a través de un análisis de regresión logística. Esta medida de influencia es uno de los términos de la ecuación para calcular la probabilidad de ocurrencia de los usos de suelo en las ubicaciones.

En la simulación del primer ejercicio se utilizaron seis factores de presión: elevación, precipitación, pendiente, distancia a ríos, densidad poblacional y distancia a carreteras. En este ejercicio se enseñará cómo obtener la influencia de los factores en la ocurrencia de cada uno de los usos de suelo y cómo integrar los resultados al modelo.

#### **Procedimiento:**

##### Preparación de mapas individuales de usos de suelo

Para poder realizar las regresiones primero deberá generar mapas individuales de cada categoría de uso de suelo (mapas binarios donde el uso de suelo tiene valor 1 y el resto del área valor 0), a partir del mapa de usos de suelo original. Para esto siga los siguientes pasos:

- Abra en ArcMap el mapa de usos de suelo *cov\_all*. Para esto, cambie primero la extensión del archivo a *.txt* (si prefiere, puede hacer una copia y trabajar con ella). Convierta el archivo a

*raster* con la herramienta *Conversion Tool* en *ASCII to Raster*. Defina la proyección y proyecte el archivo en WGS84.

- Abra una nueva vista y cargue el archivo *mask* y configure su *Spatial Analyst* como ya se ha explicado anteriormente, seleccionando la carpeta *Factores* como directorio de destino de sus archivos.
- El archivo *cov\_all* es el mapa de uso de suelo del año 0 de la simulación. Es una agregación de los usos de suelo del mapa de uso de suelos original del 2000. Cada categoría de uso de suelo tiene asignado un número. Para calcular cada uno de los mapas individuales utilice el *Raster calculator*.
- Una por una calcule las ecuaciones:  
 $cov0 = \text{con}([\text{cov\_total}]) = 0,1,0$   
 $cov1 = \text{con}([\text{cov\_total}]) = 1,1,0$   
 $cov2 = \text{con}([\text{cov\_total}]) = 2,1,0$   
 $cov3 = \text{con}([\text{cov\_total}]) = 3,1,0$  y así sucesivamente hasta completar todos los usos de suelo.

Esta ecuación condicional asigna en cada mapa el valor 1 al uso de suelo y 0 a todas las demás celdas.

- Convierta cada uno de los mapas individuales a ASCII, asignando los siguientes nombres:

*cov1\_0*

*cov1\_1*

*cov1\_2*

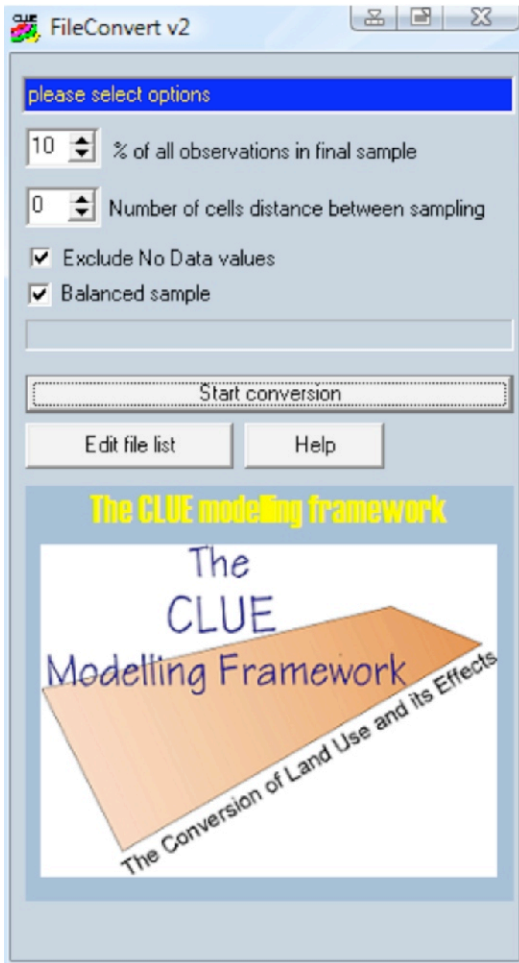
*cov1\_3* y así sucesivamente

Una vez que todos los mapas de uso de suelos estén listos, puede guardarlos. Verifique que tengan la proyección correcta y cópielos al directorio de CLUE, después de haber eliminado los archivos *cov1\_\** y *cov\_all* que allí se encuentran (mantenga como respaldo los originales en la carpeta *Factores*). En el directorio de CLUE, cambie las extensiones de los archivos de *.txt* a *.0*. Si recibe un aviso preguntando si está seguro de que desea cambiar la extensión, seleccione Sí. Una vez cambiada la extensión no podrá abrir el archivo, pero ésta es la extensión que necesita para que corra el CLUE.

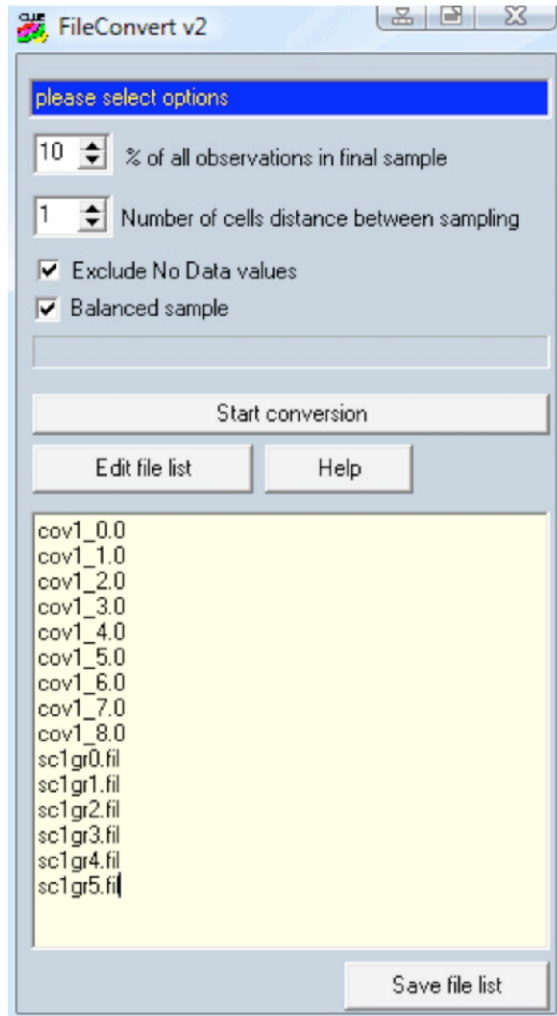
### Conversión de los datos y ejecución de la regresión

Para correr la regresión necesita los nueve mapas de suelo que ha preparado y los seis mapas de los factores. Primero, convierta la información de los archivos ASCII en un formato procesable por los paquetes estadísticos comunes. En su directorio se ha instalado un programa que le permite realizar esta conversión automáticamente.

- Abra el programa *convert.exe* que se encuentra en su directorio. Se desplegará una ventana similar a la imagen que se muestra en la siguiente página.

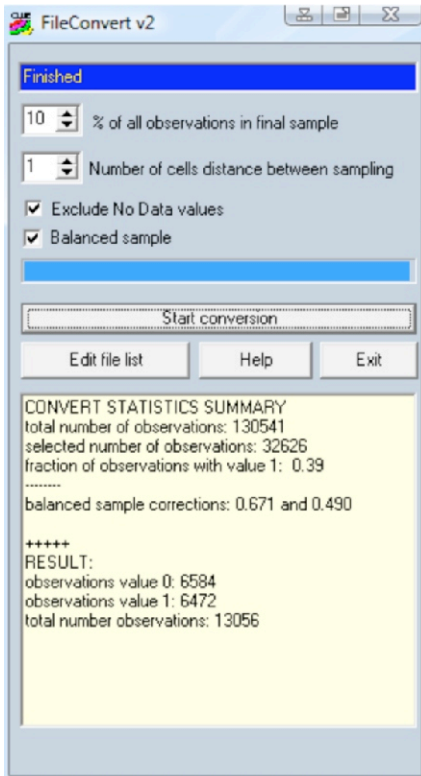


- Haga clic en el botón *Edit file list*. En esta lista deben estar los nombres de los archivos de los mapas binarios y los factores de presión. Escriba los nombres o edite los que tenga en la lista y guarde los cambios (ver imagen abajo).

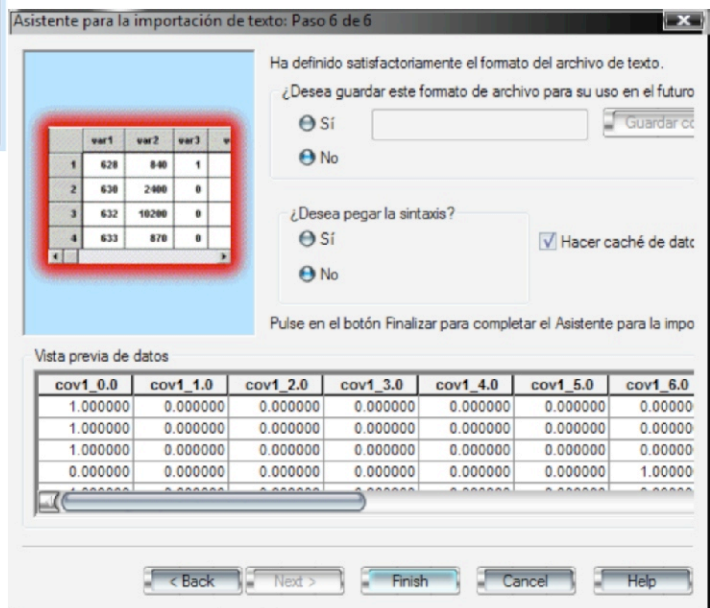


Como el número de celdas en los *raster* de Nicaragua es muy alto, sólo se tomará una muestra representativa de los usos de suelo, de lo contrario, la conversión de los datos y la regresión tomarán mucho tiempo).

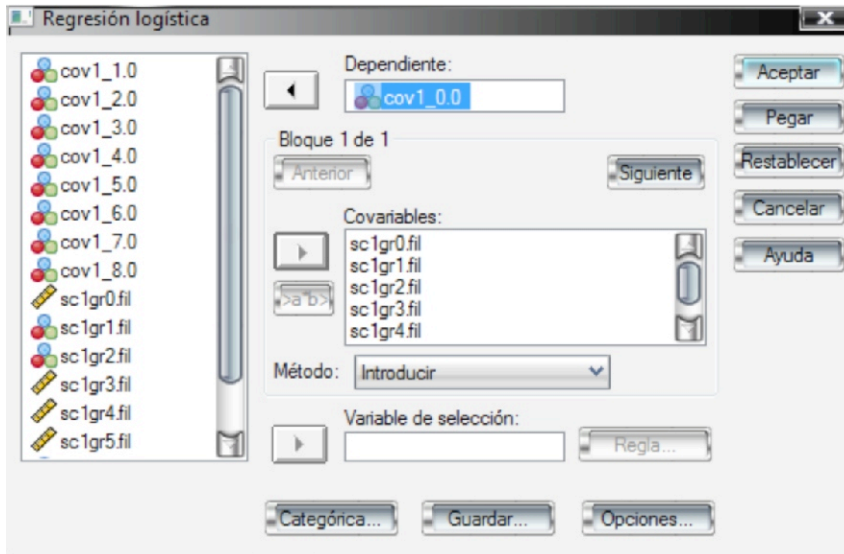
- En la opción *% of all observations in final sample* marque 10%.
- En la opción *number of cell distance between sample* marque 1. Esto permite un muestreo mejor distribuido y más representativo.
- Marque las casillas de *Exclude No Data values* y *Balanced sample* y haga clic en *start conversión*.



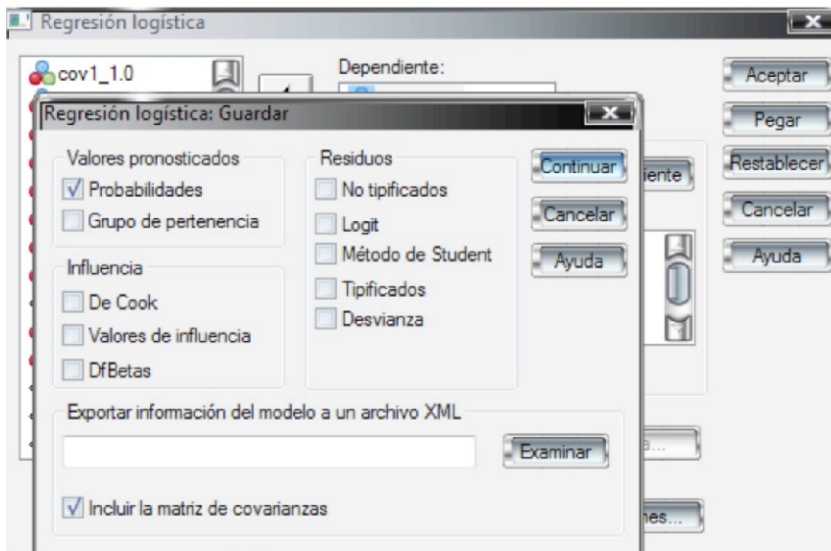
- Los resultados se guardarán en su directorio en un archivo llamado *stat.txt*. Para realizar el análisis de regresión se utilizará el paquete estadístico SPSS. Abra el programa y abra el archivo *stat.txt* con el menú **Archivos/Abrir/ Datos** y seleccione en *Archivos de tipo* la opción de Texto (.txt).
- Automáticamente se desplegará el wizard para la conversión de archivos de texto. Siga los pasos a través del wizard, seleccionando sucesivamente: *No - Delimitadas Sí - 2 - Cada línea representa un caso Todos los casos - Tabulador* (elimine la marca de Espacio) *Ninguno cov1\_0.0 - Numérica - No - No - Finish*. Verifique que la vista previa de los datos en el último paso sea como la imagen abajo:



- Si realizó correctamente los mapas individuales, las columnas *cov1\_\** deberían contener únicamente valores 1 y 0. Verifique que esto sea así.
- Vaya al menú **Analizar/ Regresión/Logística binaria**. Para realizar la primera regresión introduzca como variable independiente el primer uso de suelo y como covariables codependientes los seis factores de presión. Como método seleccione *Introducir* (véase imagen en la siguiente página).



- En la opción *Guardar* marque la casilla de *Probabilidades* (véase imagen en la siguiente página).

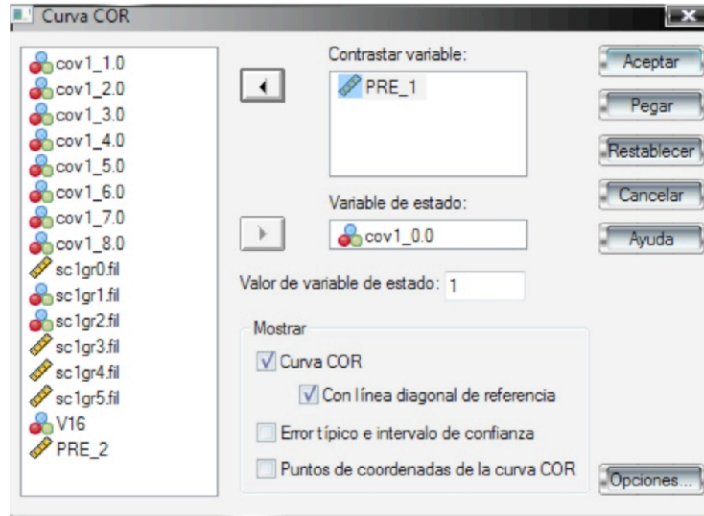


- Dé *Aceptar*. Los resultados se almacenarán en el Visor de Resultados. Repita el procedimiento para cada uno de los demás usos de suelo.

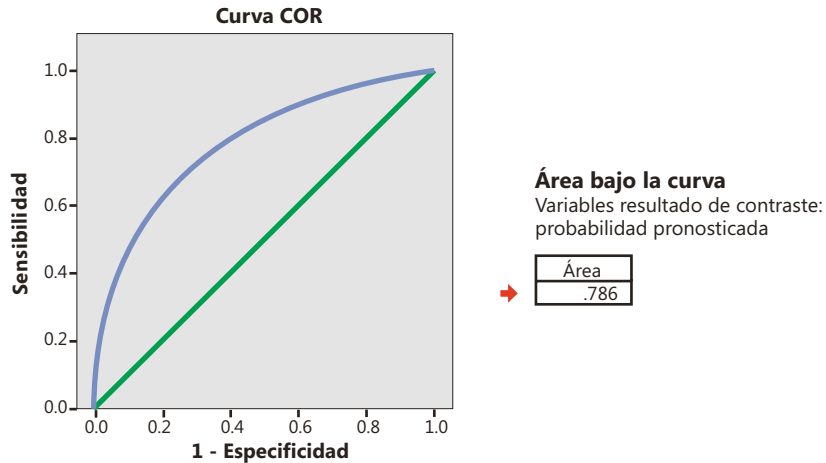
Prueba de ajuste de los datos

- Para verificar el ajuste de sus datos se utilizará el método de la Curva ROC. En el SPSS vaya al menú **Analizar/Curva ROC**.

- En el parámetro *Contrastar variable*, introduzca la primer variable de probabilidad que guardó de su regresión *PRE\_1*. En la *variable de estado* introduzca la variable del uso de suelo al que corresponde (en este caso *cov1\_0*). Marque 1 en *Valor de variable de estado* y marque las casillas de *Curva ROC* y *Con línea diagonal de referencia*.



- Los resultados se almacenarán también en el Visor de Resultados. Repita el procedimiento para cada uno de los demás usos de suelo.
- Verifique en cada uso que el valor del área bajo la curva sea de al menos .75. Esta es la medida de ajuste. Si obtiene un valor menor, particularmente si es menor de 0.5, quiere decir que sus factores no están bien ajustados a ese uso de suelo y, por lo tanto, no son buenos predictores de su ocurrencia. Si se da el caso, deberá mejorar la información de sus mapas de factores o conseguir información de otros factores que expliquen la ocurrencia de ese uso de suelo.



Los segmentos diagonales son producidos por los empates.



**Introducción de los resultados al modelo**

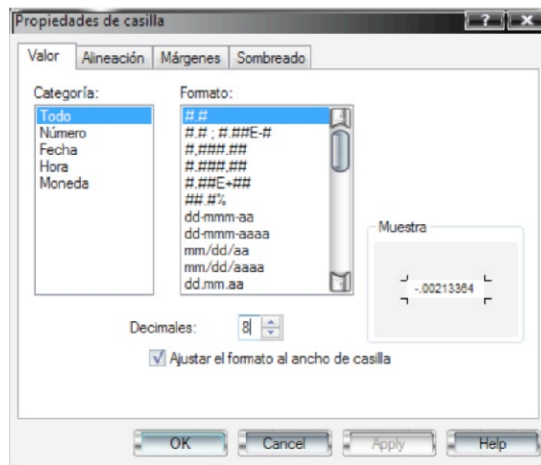
Una vez verificado el ajuste de sus datos, puede introducir los resultados de la regresión a un archivo de texto.

- Vaya al Visor de Resultados y busque el último recuadro de la primera regresión, titulado *Variables en la ecuación*.
- Las variables que van a ser introducidas en el modelo son aquellas con una significancia menor o igual a 0.05. La primera columna del recuadro muestra los nombres de las variables, correspondientes a cada factor. Busque en la quinta columna titulada *Sig.* todos los factores con valores mayores a 0.05 y descártelos. Puede hacer esto copiando en una lista los códigos de las variables incluidas de cada uso de suelo.

		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Paso 1	sc1gr0.fil	-.00213364	.001	5.460	1	.019	.000
	sc1gr1.fil	-.00042688	.000	8.053	1	.005	1.000
	sc1gr2.fil	-.01552256	.007	4.428	1	.035	.085
	sc1gr3.fil	-.00021888	.000	18.960	1	.000	1.000
	sc1gr4.fil	-.00004332	.000	.033	1	.856	1.000
	sc1gr5.fil	.00000813	.000	2.074	1	.150	1.000
	Constante	-2.44289143	.426	32.923	1	.000	.087

en el paso 1: sc1gr0.fil, sc1gr1.fil, sc1gr2.fil, sc1gr3.fil, sc1gr4.fil, sc1gr5.fil.

- Repita el procedimiento para todas las demás regresiones. Recuerde que la constante siempre va a ser incluida en el modelo, sin importar su nivel de significancia.
- El valor de los coeficientes de cada una de las variables se encuentran en la segunda columna del recuadro, titulada *B*. Para poder visualizar más decimales (algunos valores aparecerán como 0.000), cambie las propiedades de las casillas de esta columna. Seleccione las casillas y haga clic derecho, vaya a *Propiedades de casilla* y ajuste el número de decimales a 8 ó 9, como en la vista anterior (véase la imagen abajo).





- Abra un archivo en un editor de texto e introduzca los datos, de acuerdo con la estructura descrita en el Ejercicio 1.
- Guarde el archivo en el directorio con el nombre de *alloc1*. Es posible que sus resultados no concuerden exactamente con los del archivo que utilizó en el Ejercicio 1. Recuerde que la regresión se realizó sólo con una muestra representativa de las celdas que resultaron en los mapas.
- Una vez que esté listo en el archivo, sólo necesita cambiar la extensión de *.txt* a *.reg* (sustituyendo el archivo que se encuentre en el directorio) y verificar que se haya cargado en el menú de *Edit main parameters*.
- En este caso, no es necesario volver a correr completamente la simulación porque los valores deberían ser prácticamente los mismos. Sin embargo, trate de correrla nuevamente, sólo para verificar que no hay errores en su archivo de regresión. Si la simulación se está ejecutando adecuadamente puede cancelarla.

## Ejercicio 4: Modificación de los parámetros principales

Por último, en este ejercicio aprenderá cómo modificar los parámetros principales del modelo, según las condiciones de su simulación.

En el Ejercicio 1 se explicó que cada una de las líneas del menú *Main Parameters* representa un parámetro distinto. Casi todas las variables de este menú son fáciles de definir, de acuerdo con el número y códigos de los archivos de insumos, la configuración de los mapas, las elasticidades y el período de simulación. Pero existen otras variables que representan modalidades de operación de la simulación. En estos casos es necesario conocer cuáles son las modalidades, qué significan y cómo se definen. A continuación se le explicará el significado y cómo definir las líneas 12 y de la 14 en adelante.

- Abra el archivo *main.1*, ya sea como texto o a través de la interfase del usuario.

### Línea 12 Variables de iteración

Se explicó anteriormente que el modelo CLUE asigna los requerimientos totales de área de los distintos usos de suelo de un país, de acuerdo con la modelación dinámica condicionada por diversos factores, a través de un proceso iterativo. En este proceso, el modelo asigna los usos según la probabilidad más alta, calcula el área total asignada, luego calcula la diferencia entre el área demandada y el área asignada y compara esta diferencia con el nivel máximo de diferencia tolerable.

En esta línea se necesitan especificar tres números con relación a dicha diferencia o desviación máxima tolerable.

- El primer número es la modalidad de iteración. Se coloca 0, si el criterio de convergencia se expresará de forma relativa como un porcentaje de la demanda ó 1, si el criterio se expresará como un valor absoluto en las unidades de la demanda.
- El segundo número es la "diferencia máxima promedio" tolerable entre los requerimientos especificados en la tabla y los distribuidos para cada uso de suelo (por defecto está especificado un 0.35% en la modalidad relativa y la extensión del área de una celda dividida entre el número de usos de suelo en la modalidad absoluta).

- El tercer número es la "diferencia máxima total" tolerable entre los requerimientos especificados en la tabla y los distribuidos para el área total (por defecto está especificado un 3% en la modalidad relativa y la extensión del área de una celda en la modalidad absoluta).

Como se puede observar en el archivo *main.1*, el criterio de convergencia se expresará de forma relativa. La desviación máxima promedio tolerable es de 1% y la desviación máxima total tolerable es de 3%. Entre más bajos sean estos valores más acertados serán los resultados según los requerimientos de la tabla, pero más difícil será encontrar las soluciones de cada año.

Línea 14 Número y código de los factores de presión dinámicos

Algunos de los factores de presión que se incluyen en la regresión pueden ser dinámicos, es decir, que varían año con año. Para estos factores se deben preparar diferentes mapas de insumo para cada año de la simulación. En la línea 14 se especifica primero cuántos factores dinámicos hay en la simulación y luego cuál es el código de estos factores en la lista. En el archivo de ejemplo no hay ningún factor dinámico, por lo que el número en esa línea es 0. Si incluyera dos factores dinámicos -como los de población o grado de erosión del suelo- y éstos factores fueran los números 3 y 6 de la lista, entonces la línea 14 debería leerse: "2 3 6"; 2 por el número de factores dinámicos, y 3 y 6 sus códigos. Para más información sobre cómo incorporar estos archivos consulte la sección de Ayuda.

Línea 15 Selección del formato de los archivos de resultado

Esta línea sirve para especificar el formato en que se prefieren los resultados finales, dependiendo del sistema con el que vaya a procesarlos. Se elige entre una de las opciones:

- 1 Los archivos de resultado tendrán impresos los encabezados de ArcView-ArcGIS.
- 0 Los archivos de resultado no tendrán impreso ningún encabezado (si utiliza Idrisi).
- -2 Los archivos no tendrán ningún encabezado ni se registrará la información de las iteraciones en el archivo log.
- 2 Los archivos tendrán los encabezados de ArcView-ArcGIS, pero no se registrará la información de las iteraciones en el archivo log.

En el archivo *main.1* puede observar que se utiliza la modalidad de formato 1, pues se está trabajando en ArcGIS para preparar los insumos y mostrar los resultados.

Línea 16 Selección de la modalidad de regresiones específicas por región

Esta línea le permite introducir la opción de tener diferentes regresiones, es decir, diferentes medidas de influencia de los factores de presión, para las distintas regiones que un país pueda tener. Por ejemplo, si un país tiene tierras altas y tierras bajas, y las características determinantes en la asignación de los usos de suelos son distintas en cada región, vale la pena introducir regresiones distintas para cada una de las regiones e incluso distintas tablas de demanda. Las modalidades son las siguientes:

- 0 Una sola regresión para todas las regiones.
- 1 Distintas regresiones para cada región y demandas diferenciadas.
- 2 Distintas regresiones para cada región y demandas agregadas.

La primera modalidad es la opción por defecto, seleccionada en el archivo *main.1*.

### Línea 17 Selección del modo de inicio de la historia de uso de suelo

Esta opción le permite incluir el manejo de las dinámicas temporales en su modelo. Cuando se especifican tiempos máximos o mínimos para una conversión es necesario conocer la historia de uso de suelo de cada uno de los píxeles, es decir, cuánto tiempo llevan bajo un determinado uso de suelo. Como usualmente no se conoce este dato para el año 0, se asignan números al azar. Las modalidades de configuración de esta opción son las siguientes:

- 0 No se toman en cuenta las dinámicas temporales. Se genera automáticamente un mapa *age.0*, en el cual se van almacenando las edades de las celdas bajo un uso.
- 1 En el archivo *age.0* se le asigna un número al azar a cada pixel para representar en número de años que lleva bajo un uso de suelo determinado. La asignación al azar se mantiene en las simulaciones subsiguientes, por lo cual esta opción se utiliza cuando se desea hacer comparaciones.
- 2 En el archivo *age.0* se le asigna un número al azar a cada pixel para representar en número de años que lleva bajo un uso de suelo determinado. La asignación al azar varía en cada una de las simulaciones subsiguientes.

En las opciones 1 y 2, se coloca otro número después de la modalidad, que indique el máximo de años que pueden ser asignados en el procedimiento al azar; en el archivo *main1* tal opción está desactivada, pero puede colocarse por ejemplo '1 5', que significa la modalidad 1 de historias de uso y que a cada pixel se le asigna al azar un número entre 1 y 5.

### Línea 18 Selección del cálculo de vecindad

Le permite seleccionar las opciones de las funciones de vecindad:

- 0 No se utilizan las funciones de vecindad.
- 1 Se utilizan las funciones de vecindad en la simulación.
- 2 Sólo se calculan y generan los mapas de influencia pero no se utilizan en la simulación.

En el archivo *main1* esta opción está desactivada.

### Línea 19 Adición de las preferencias específicas de ubicación

Le permite incluir en la ecuación de probabilidad un término adicional que dé un peso a las preferencias específicas de ubicación. Algunas ubicaciones pueden tener una preferencia por un uso de suelo específico determinado, debido a las políticas de uso de suelo que allí se implementen. Por ejemplo, si existe un programa de incentivos económicos para la reforestación de laderas, es lógico que las ubicaciones o celdas de laderas tengan preferencia por el uso de suelo de bosque o plantación forestal.

Para utilizar esta adición se necesita crear mapas para cada uso de suelo que contengan valores de 1, en las ubicaciones o celdas donde hay una preferencia específica y 0 en las demás celdas. Para los usos de suelo que no tienen política de preferencia, los valores del mapa son todos 0. Los mapas se identifican con los nombres de *locspec\*.fil*, donde \* representa el código del uso. Una vez que los mapas están en el directorio se define la modalidad en la línea 19:

- 0 Modalidad desactivada. Cuando no se toma en cuenta la adición de las preferencias.
- 1 Modalidad activada. Después del 1 se coloca la fracción del factor de peso del mapa que se va a adicionar para cada uno de los usos de suelo.



En el archivo *main1* esta opción está desactivada. Y al igual que las funciones de vecindad, su utilización no se abarcará en este manual. Consulte la sección de Ayuda (Help) en la interfase del modelo CLUE, para más información.

Línea 20 *Parámetro de iteración opcional*

En esta línea se especifica el parámetro de iteración. El valor del parámetro puede estar entre 0.01 y 0.1. Entre más alto sea el valor, más probable es que el modelo dé una solución. Entre más bajo sea el valor, más rápida será la convergencia. Si no se especifica un valor se asume por defecto un 0.05, lo cual suele funcionar bien en la mayoría de las simulaciones.

En el archivo *main.1* esta opción está activada por defecto.

**Procedimiento:**

- Con ayuda de la tabla del Ejercicio 1 y las explicaciones anteriores, interprete los siguientes ejemplos de sets de parámetros principales:

9	7	8
2	1	2
9	6	6
290	407	480
305	415	470
1	0.5	0.25
457800	439000	493100
1531000	1467000 1472000	
0 1 2 3 4 5 6 7 8	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
1 0.9 0.8 0.2 0 0 0.2 0.4 1	1 1 0.7 0.1 0.8 0 1	1 0.7 0.6 0.2. 0.3 0.9
0 0.5 3	1 0.1 1	0 1 5
2000 2050	1995 2025	1993 2023
0	2 2 5	3 1 2 6
1	0	-2
2	0	1
1 5	1 3	0
0	1	0
0	0	1 0 0 0 0.7 1 0
0.05	0.1	0.01

- Practique variando algunos de los parámetros principales en la simulación del Ejercicio 1, manteniendo el resto de factores constante. Ejecute la simulación y compare sus resultados.
- Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados y la utilidad de los parámetros principales para configurar su modelación.

## INTEGRACIÓN DE LOS MODELOS

Para integrar el modelo CLUE en el marco de la metodología GLOBIO de modelación de biodiversidad, utilice un mapa de uso de suelos futuro que haya resultado de una de sus simulaciones para modelar lo que sería el estado de la biodiversidad en el futuro.

### Datos de insumo:

Mapa futuro de uso de suelos generado con el modelo CLUE.

Tabla de valores de biodiversidad (*Reclass values.xls*).

### Resultados intermedios:

Mapa de impacto por uso de suelo a futuro (*msa\_lu2030*).

Mapa de impacto por infraestructura a futuro (*msa\_infra2030*).

Mapa de impacto por fragmentación a futuro (*msa\_frag2030*).

Mapa de impacto por cambio climático a futuro (*msa\_cc2030*).

### Resultado final:

Mapa MSA de Nicaragua de 2030 (*msa\_tot2030*).

### Pasos:

- Seleccione un mapa de uso de suelo a futuro, de los que generó en sus ejercicios con el CLUE. Identifique los parámetros que caracterizan su escenario: cambios en las demandas de usos de suelo, características de las ubicaciones, características de conversión y restricciones.
- Abra una vista en ArcMap. Cargue la máscara y configure su *Spatial Analyst* como se le ha explicado anteriormente.
- Genere el mapa de impacto por cobertura/uso de suelo con el mapa de uso de suelos del 2030, siguiendo la metodología explicada en la sección GLOBIO - Tutorial.

**Nota:** Vaya asignando a los nuevos archivos la terminación 30, u otra diferenciada de sus primeros cálculos de GLOBIO para el estado actual, o guarde en una carpeta separada.

- Recalcule el mapa de impacto por infraestructura usando como insumo el nuevo mapa con las clases de biodiversidad de 2030 que genere al realizar el inciso anterior (*lu\_nica\_bd30*).
- Recalcule el mapa de impacto por fragmentación usando como insumo el nuevo mapa con las clases de biodiversidad de 2030 que genere al realizar el inciso anterior (*lu\_nica\_bd30*).



- Recalcule el mapa de impacto por cambio climático utilizando el cambio de temperatura esperado para el año 2030 (Ver Tabla 5).
- Genere el nuevo mapa de impacto total en el MSA siguiendo la metodología de la sección GLOBIO - Tutorial.
- Compare el mapa del estado actual del ejercicio GLOBIO - Tutorial con el mapa del estado futuro de biodiversidad que acaba de generar. Analice qué diferencias hay entre los escenarios simulados, la utilidad del modelo CLUE, en el marco de la metodología GLOBIO y la utilidad de la metodología como herramienta para la toma de decisiones sobre el estado de la biodiversidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alkemade, R. *et al.* 2009. "GLOBIO: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Lost". *Ecosystems*, 12(3): 374-390.
- Bouwman, AF.; Kram, T. y Klein Goldewijk, K (edited). 2006. "Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4". Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP).
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). 2005. "Programa Estratégico Regional de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad". En línea. Consultado el 1 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://www.ccad.ws/documentos/cbm/PROME BIO.pdf>.
- Convention on Biological Diversity (CBD). 2007. "Sustaining Life on Earth". En línea. Consultado el 30 de agosto de 2009. Disponible en: <http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-sustain-en.pdf>.
- Ecotropía. 2003. "Deposición de Nitrógeno en los bosques mediterráneos". Barcelona. Archivo Noticias 9/01/03. En línea. Consultado el 16 de julio de 2009. Disponible en: <http://www.ecotropia.com/n2020103.htm>.
- Instituto Nacional de Biodiversidad. "Glosario. Base de Datos Ecosistemas". Costa Rica, 2009. En línea. Disponible en: <http://www.inbio.ac.cr/ecomapas/glosario01.htm>.
- Luijten, J.; Miles, L. and Cherrington, E. 2006. "Land use change modeling for three scenarios for the MAR region. Technical Report". UNEP, WCMC.
- Porter, E. *et al.* 2000. "El Nitrógeno en la Lluvia Nacional". Programa Nacional de Deposición Atmosférica (NADP). Traducción: Campillos, M. En línea. Consultado el 16 de julio de 2009. Disponible en: [icuc.unk.edu/doc\\_files/MarcosCampilloFenollPaper.doc](http://icuc.unk.edu/doc_files/MarcosCampilloFenollPaper.doc).
- Subgerencia de Información Geográfica del Agua. "Diccionario de Sistemas de Información Geográfica". México, 2009. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Diccionarios/glosario.htm#R>.
- Van Rooij, W. 2008. "Manual for biodiversity modelling on a national scale". MNP Bilthoven. The Netherlands.
- Verburg, P.H. *et al.* 2002. "Modelling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model". *Environmental Management*, 30(3): 391-405.
- Verburg, P. H. (developed by). 2006. "Help content of the CLUE-S model". Department of Environmental Sciences. Wageningen University. The Netherlands.
- Verburg, P.H. 2008. "The CLUE-S model. Tutorial CLUE-s (versión 2.4) and DYNA-CLUE (versión 2)". Wageningen University. The Netherlands.



## ANEXOS

### Anexo I: Glosario

**Agroforestería:** sistemas de plantación que combinan, a nivel de parcelas productivas, cultivos agrícolas con especies forestales, generalmente maderables.

**Análisis de vecindades:** agrupamiento de áreas contiguas con un algoritmo sobre los atributos de las áreas.

**Arbusto:** individuo leñoso perenne con una estatura menor de 5m de altura.

**ASCII:** Código Americano Estándar para el Intercambio de Información. Se refiere al código de texto convencional.

**Bioma:** unidad terrestre definida por un clima uniforme regional con presencia de vegetación dominada por una sola forma de vida o crecimiento conocida como formación vegetal mayor.

**Bosque primario:** bosque que se encuentra en etapa madura de sucesión, en el cual la estructura y composición son el resultado de procesos ecológicos no intervenidos por la actividad humana.

**Bosque secundario:** bosque que está regenerado naturalmente después de la tala total o parcial, quema u otra actividad de conversión de la tierra, sin que se haya recuperado totalmente.

**Buffer:** área o polígono que rodea un punto, una línea o una recta.

**Capa:** mapa monotemático que se integra a una serie de mapas en un sistema de información geográfica.

**Cobertura:** área horizontal sobre la tierra ocupada por algún tipo de hábitat natural, seminatural, cultural, industrial, terrestre, acuático o indefinido.

**Coordenadas:** los n valores que determinan la posición de un punto en un espacio n dimensional.

**Curva de nivel:** línea imaginaria que une puntos de igual altitud sobre un terreno.

**Datum:** elipsoide de referencia y su posición respecto a la Tierra.

**Ecosistema:** complejo dinámico de comunidades de organismos y su medio físico, interactuando como una unidad funcional, en un espacio determinado.

**Endémico:** restringido a una región o localidad específica, en su hábitat natural.

**Grid:** retícula, rejilla o celda.

**Importar:** cargar a un sistema información proveniente de otro.

**Input:** dato de entrada o insumo en un sistema u operación.

**Interfase del usuario:** plano que permite la interacción entre el programa y el usuario.

**Interpolar:** estimar el valor de una función dentro del dominio de la muestra

**Mangle:** bosque tropical, anegado por aguas salobres y cerca de la costa, dominado por una o más especies arborescentes de mangle.

**Matorral:** sitio poblado por arbustos.



**Metadatos:** datos que describen información sobre la información o datos sobre los datos. Describen quién, cómo y cuándo han sido obtenidos un conjunto de datos en particular.

**Modelo:** descripción de un conjunto de objetos y sus relaciones.

**Pastizal:** vegetación que sostiene el crecimiento de pastos y plantas pequeñas, donde están ausentes grandes agrupaciones de árboles o arbustos.

**Query:** (Consulta) conjunto de condiciones o preguntas usadas para extraer información de la base de datos.

**Raster:** imagen de rejilla compuesta por cuadrículas de colores o tonos que representan datos desplegados en un monitor.

**Reclasificación:** cambiar los valores de las clases o categorías de una clasificación dada.

**Script:** lenguaje codificado que permite la programación y automatización de tareas en sistemas computarizados.

**Simulación:** modelado del comportamiento dinámico de un sistema.

**Sistema de coordenadas:** sistema de referencia que permite la localización unívoca de un punto en un espacio.

**Ubicación:** cada uno de los puntos o lugares en el espacio expresado en unidades de área, en este caso cada una de las celdas o píxeles del *raster*.

## Anexo II: Asignación de valores MSA al mapa original de usos de suelo

En el escenario ideal, los valores de MSA para cada uno de los usos de suelo de un país o región serían estimados a través de la revisión de literatura científica sobre la biodiversidad específica de esos usos de suelo. Sin embargo, lo usual es que no se disponga del tiempo ni los recursos para realizar esta revisión. Por esto es necesario utilizar los valores de MSA de las clases generales de uso de suelo determinadas por la metodología GLOBIO. La tabla siguiente, que se mostró anteriormente en la sección GLOBIO Conceptos, contiene los valores de MSA para las clases generales del GLOBIO:

Clase Bd	Nombre	Valor MSA
10	Bosque primario	1.0
11	Plantación forestal	0.2
12	Bosque secundario	0.5
13	Bosque primario ligeramente intervenido	0.7
20	Agroforestería	0.5
30	Agricultura extensiva	0.3
31	Agricultura intensiva irrigada	0.05
32	Agricultura intensiva	0.1
33	Perennes y biocombustibles	0.2
40	Pastizales y matorrales naturales	1.0
41	Pastizales artificiales	0.1
42	Áreas de pastoreo	0.7
50	Suelos desnudos y nieves natural	1.0
60	Cuerpos de agua naturales	nulo
61	Cuerpos de agua artificiales	nulo
62	Ríos y arroyos	nulo
70	Áreas construidas	0.05

El procedimiento para asignar estos valores de MSA consiste en reclasificar las clases del mapa de uso de suelo más actualizado, disponible en estas clases generales. Sin embargo, los mapas nacionales de uso de suelo suelen contener una amplia variedad de usos que no pertenecen específicamente a una de estas clases.

Para evitar perder la riqueza contenida en estos mapas de uso de suelo se sugiere un procedimiento de reclasificación más complejo, que permita interpolar valores de MSA para las clases con características únicas.

### Pasos:

- Ordene las clases de uso de suelo del mapa nacional de mayor a menor biodiversidad, agrupándolas y codificándolas en las clases de biodiversidad como en la tabla anterior (código 1, para bosques; 2, sistemas agroforestales; 3, sistemas agrícolas; 4, pastizales; 5, rocas y suelos desnudos; 6, cuerpos de agua; y, 7, áreas construidas).
- Reclaseifique las clases que pertenezcan específicamente a las clases generales con los valores generales de MSA.

- Del procedimiento anterior habrán quedado grupos de clases de uso de suelo del mapa original sin reclasificar. Como las clases están ordenadas según su biodiversidad, los valores de MSA reclasificados determinarán los rangos de las interpolaciones.
- Interpole los valores de MSA asignando valores intermedios a las clases que aún no tienen valores, según la valoración y el juicio de los encargados de la reclasificación. La siguiente tabla muestra un ejemplo de una reclasificación con extrapolación de valores.

Clase original	Clasificación GLOBIO	Clase	MSA	Nueva clase	MSA
Bosque latifoliado cerrado	Bosque Primario	10	1		
Bosque mixto	Bosque Primario	10	1		
Manglares	Bosque Primario	10	1		
Bosque de pino cerrado	Bosque Primario	10	1		
Vegetación arbustiva	Bosque Primario	10	1		
Bosque con palma	No aplica			14	0.8
Bambú	No aplica			14	0.8
Bosque latifoliado abierto	Bosque primario ligeramente intervenido	13	0.7		
Bosque de pino abierto	Bosque Secundario	12	0.5		
Plantaciones forestales	Plantaciones Forestales	11	0.2		
Plantaciones de pinares	Plantaciones Forestales	11	0.2		
Café con sombra	Agroforestería	20	0.5		
Café sin sombra	No aplica			34	0.4
Cultivos anuales	Agricultura extensiva	30	0.3		
Cacao/musáceas	Perennes y biocombustibles	33	0.2		
Musáceas	Perennes y biocombustibles	33	0.2		
Cítricos	Perennes y biocombustibles	33	0.2		
Huertos	Agricultura intensiva	32	0.1		
Tabaco	Agricultura intensiva	32	0.1		
Cultivos anuales bajo riego	Agricultura intensiva irrigada	31	0.05		
Caña de azúcar	Agricultura intensiva irrigada	31	0.05		
Maleza y pasto con árboles	Áreas de pastoreo	42	0.7		
Tacotal y pasto con maleza	No aplica			43	0.5
Pasto manejado	Pastos cultivados	41	0.1		
Cárcava con vegetación	Suelos desnudos	50	1		
Playa	Suelos desnudos	50	1		
Área volcánica	Suelos desnudos	50	1		
Tierra sujeta a inundación	Suelos desnudos	50	1		
Suelo sin vegetación	Suelos desnudos	50	1		
Afloramientos rocosos	Suelos desnudos	50	1		
Camaroneras	Cuerpos de agua artificiales	62	nulo		
Agua	Cuerpos de agua naturales	61	nulo		
Centros poblados	Áreas construidas	70	0.05		
Área humanizada	Áreas construidas	70	0.05		

Como se habrá notado, en la evaluación de la reclasificación se determinará qué tan acertado y válido puede resultar el procedimiento de asignación de valores MSA. Por lo cual es recomendable que la misma sea realizada por profesionales que hayan tenido suficiente experiencia científica como de campo. De tal manera que el proceso de reconocimiento del estado de la biodiversidad en los distintos ecosistemas y usos de suelo del país y/o de los resultados de la reclasificación puedan ser validados por un panel de expertos. También es necesario que los resultados se acompañen de una explicación de cómo y por qué fueron determinados cada uno de los valores asignados.

## FLORES NACIONALES DE LOS PAÍSES DE CENTROAMÉRICA



**Belice:** Orquídea Negra/Black Orchid  
*Prosthechea (Encyclia) cochleata*



**Costa Rica:**  
Guaria Morada/Skinner's Cattleya  
*Guarianthe skinneri*



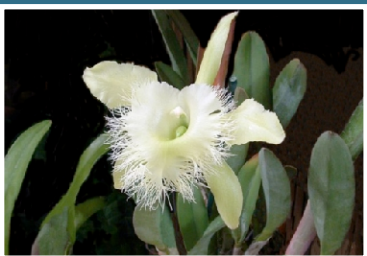
**Panamá:**  
Flor del Espíritu Santo/Holy Ghost Orchid  
*Peristeria alata*



**El Salvador:** Flor de Izote/Spineless Yucca  
*Yucca elephantipes*



**Guatemala:** Monja Blanca/White Nun  
*Lycaste virginales alba*



**Honduras**  
Orquídea de la Virgen/Orchid of the Virgin  
*Rhyncholaelia (Brassavola) digbyana*



**Nicaragua:**  
Sacuanjoche/Precious Yellow Pen  
*Plumeria rubra var. acutifolia*



**Escuela  
Agrícola  
Panamericana  
Zamorano**

Apartado Postal 93,  
Tegucigalpa,  
Honduras, C. A.

Tel: (504) 776-6140  
Fax: (504) 776-6242  
[www.zamorano.edu](http://www.zamorano.edu)

ISBN: 978-99926-790-1-2



9 789992 679012