



Esquema de Retribución por Servicios Ambientales

(ERSA)

**para la Conservación de los Bosques y
Gestión de Fuentes Hídricas en la
jurisdicción de CORPOCHIVOR**



Modelación de la deforestación futura en la jurisdicción de Corpochivor mediante el software Dinamica Ego para el periodo 2014-2044



ASAMBLEA CORPORATIVA

CARLOS ANDRES AMAYA RODRIGUEZ
Gobernador de Boyacá
CARLOS ALBERTO ACEVEDO VELASQUEZ
Alcalde Municipio de Almeida
JULIO CESAR NEIRA CASTRO
Alcalde Municipio de Boyacá
PEDRO MIGUEL LOPEZ VELA
Alcalde Municipio de Chimpohermoso
LUIS CARLOS CRUZ LOPEZ
Alcalde Municipio de Ciénega
FRANCISCO JAVIER ROA MILLAN
Alcalde Municipio de Chinavita
CARLOS HERNANDO PERILLA ALDANA
Alcalde Municipio de Chivor
JULIO ERNESTO SANABRIA GUERRA
Alcalde Municipio de Garagoa
EDWIN CRISANTO BOHORQUEZ MORA
Alcalde Municipio de Guateque
BENJAMIN EDILSON PIÑEROS ALFONSO
Alcalde Municipio de Guayatá
HUGO ALEXANDER REYES PARRA
Alcalde Municipio deJenesano
MELQUISEDEC SALGADO ZUBIETA
Alcalde Municipio de La Capilla
NABOR FELIPE LONDOÑO GORDILLO
Alcalde Municipio deMacanal
HERIBERTO SUAREZ MUÑOZ
Alcalde Municipio de Nuevo Colón
JOSE JACINTO MORALES SANABRIA
Alcalde Municipio dePachavita
OMAR JUNCO ESPINOSA
Alcalde Municipio deRamiriquí
MILTON OSWALDO FERNANDEZ
Alcalde Municipio de San Luis de Gaceno
RUBEN SANCHEZ NIÑO
Alcalde Municipio de Santa María
GERMAN RICARDO ROBAYO HEREDIA
Alcalde Municipio de Somondoco
CAMILO SASTOQUE LEIVA
Alcalde Municipio de Sutatenza
JHON ALEXANDER LOPEZ MENDOZA
Alcalde Municipio de Tenza
LUIS ALEJANDRO MILLAN DIAZ
Alcalde Municipio de Tibaná
YOANI VELA BERNAL
Alcalde Municipio de Turmequé
ELIS ALEXANDER MORENO SALAMANCA
Alcalde Municipio de Úmbita
CARLOS JULIO MELO ALDANA
Alcalde Municipio de Ventaquemada
ALFREDO CARO PUIN
Alcalde Municipio de Viracachá

CONSEJO DIRECTIVO

JUAN MANUEL SANTOS CALDERON
Presidente de la República de Colombia
OSCAR MAURICIO BARRETO BOHORQUEZ
Representante del Presidente de la República
LUIS GILBERTO MURILLO
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible
EMMA JUDITH SALAMANCA GUAUQUE
Delegada del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
CARLOS ANDRES AMAYA RODRIGUEZ
Gobernador de Boyacá
FABIO ALBERTO MEDRANO REYES
Delegado del Gobernador de Boyacá
LUIS CARLOS CRUZ LOPEZ
Alcalde Municipio de Ciénega
HERIBERTO SUAREZ MUÑOZ
Alcalde Municipio de Nuevo Colón
MILTON OSWALDO FERNANDEZ ALFONSO
Alcalde Municipio de San Luis de Gaceno
CAMILO SASTOQUE LEIVA
Alcalde Municipio de Sutatenza
RAFAEL RUIZ BUITRAGO
Representante Sector Privado
DAVID APARICIO AVILA
Representante Sector Privado
MARÍA ANDREA MEDINA GARCÍA
Representante ONG
HENRY CUESTA ALFONSO
Representante ONG

DIRECTIVOS CORPOCHIVOR

FABIO ANTONIO GUERRERO AMAYA
Director General
DAMARIS ASBLEIDY BUSTOS ALDANA
Secretaria General
OSCAR HERNANDO BERNAL VARGAS
Subdirector de Planeación y Ordenamiento Ambiental del Territorio
ANA CELIA SALINAS MARTIN
Subdirectora de Gestión Ambiental
OMAR HERNANDO FORERO GAMEZ
Subdirector Administrativo y Financiero
JOSE MANUEL ROJAS BERMUDEZ
Jefe Oficina de Control Interno
ANA LILIANA SUÁREZ HERRERA
Revisora Fiscal

María del Carmen Hernández – Supervisora Contrato para la Administración de Proyectos No.237–15

Néstor Alexander Valero Fonseca – Coordinación Proyecto 202: "Protección, Manejo Sostenible e Incremento de la Oferta Forestal"

Cristian Fernando Martin Lesmes – Comunicaciones



Esta publicación ha sido generada en el marco del Contrato para la Administración de Proyectos No.237-15, suscrito entre Corpochivor y South Pole Carbon Asset Management SAS, gracias a la cofinanciación del Fondo de Compensación Ambiental -FCA- del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en desarrollo del proyecto "Desarrollo de Estrategias de Gobernanza Forestal para la Gestión y Monitoreo de las Coberturas Boscosas de la Jurisdicción de CORPOCHIVOR".

Preparado por:

Wilmer Harvey Vallejo Arévalo – Ingeniero Catastral y Geodesta Operador Sistema de monitoreo de bosques y áreas de aptitud forestal y generar información temática y cartográfica, Corpochivor

Revisado por:

South Pole Carbon Asset Management SAS en consorcio con Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global -Carbono & Bosques-

Víctor David Giraldo, Director de Proyecto Forestales y Cambio en el Uso del Suelo
+ (57) 300 7048 523 · v.giraldo@thesouthpolegroup.com ·

Medellín, 14 de diciembre de 2017

Revisión Técnica Corpochivor

Claudia Catalina Rodríguez Lache– Coordinación proyecto 103: Gestión integral del territorio

Jaime Mauricio Otálora Aldana– Coordinación proyecto 201: Protección, recuperación y manejo de la biodiversidad y de los ecosistemas estratégicos

Jhon Fredy Vallejo Buitrago – Coordinación proyecto 401: Gestión para el desarrollo sostenible en los sectores productivos de la jurisdicción.

Karen Dayana Perilla Novoa – Coordinación proyecto 301: Gestión integral del recurso hídrico

María del Carmen Hernández – Supervisora Contrato para la Administración de Proyectos No.237-15

Néstor Alexander Valero Fonseca – Coordinación Proyecto 202: "Protección, Manejo Sostenible e Incremento de la Oferta Forestal"

Wilmer Harvey Vallejo Arévalo – Operador Sistema de monitoreo de bosques y áreas de aptitud forestal y generar información temática y cartográfica

Cítese como:

2017, Corporación Autónoma Regional de Chivor, Corpochivor; South Pole Carbon Asset Management SAS en consorcio con Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global -Carbono & Bosques; Esquema de Retribución por Servicios Ambientales (ERSA) para la gestión de los bosques y la conservación de las fuentes hídricas en la Jurisdicción de CORPOCHIVOR.

Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total debe ser autorizada por la Corporación Autónoma Regional de Chivor, Corpochivor.

Garagoa-Boyacá
Colombia
2017

Tabla de Contenido

1. Introducción	7
2. Localización	8
3. Metodología	9
3.1. Insumos cartográficos	10
3.2. Cubo de variables	12
3.3. Modelación	13
4. Resultados	15
4.1. Matrices de transición	16
4.2. Rangos para establecer pesos de evidencia	17
4.3. Coeficientes de pesos de evidencia	18
4.4. Análisis de correlación de variables	21
4.5. Construcción modelo de simulación	23
4.6. Validación mediante la función exponencial de decaimiento	26
4.7. Validación mediante función de decaimiento constante con ventanas múltiples	29
4.8. Ejecución de la simulación definitiva	31
5. Productos obtenidos y anexos	33

Lista de tablas

Tabla 1. Áreas de cobertura boscosa años 2005, 2010 y 2014	7
Tabla 2. Insumos cartográficos requeridos en la modelación.....	10
Tabla 3. Matriz de transición de múltiples pasos	16
Tabla 4. Matriz de transición de único paso	16
Tabla 5. Rangos de pesos de evidencia.....	17
Tabla 6. Valores resultantes de pesos de evidencia con rangos a eliminar señalados	19
Tabla 7. Matriz de pesos de evidencia definitivos	19
Tabla 8. Matriz de correlación de variables	22
Tabla 9. Resultados de pruebas de simulación.....	23
Tabla 10. Valores de similitud para ventanas múltiples.....	29

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de localización jurisdicción de Corpochivor.....	8
Ilustración 2. Distribución espacial de las variables	11
Ilustración 3. Diagrama modelo de generación del cubo raster.....	12
Ilustración 4. Diagrama de flujo proceso de modelación	13
Ilustración 5. Diagrama modelo de cálculo de las matrices de transición.....	16
Ilustración 6. Diagrama modelo fijación de rangos de pesos de evidencia	17
Ilustración 7. Diagrama modelo de cálculo de los pesos de evidencia.....	18
Ilustración 8. Diagrama modelo de análisis de correlación de variables	21
Ilustración 9. Diagrama modelo de simulación del paisaje del año 2010	24
Ilustración 10. Salida gráfica paisaje modelado 2010 (izq) Vs. paisaje Inicial 2010 (der).....	25
Ilustración 11. Diagrama modelo validación por función exponencial de decaimiento	26
Ilustración 12. Salida gráfica similitudes entre simulación y paisaje observado	27
Ilustración 13. Diagrama modelo validación función de decaimiento constante con ventanas múltiples	29
Ilustración 14. Distribución espacial de la validación con máxima similitud (izq.) Vs. mínima similitud (der.)	30
Ilustración 15. Diagrama modelo definitivo de simulación de paisaje 2014 – 2044.....	31
Ilustración 16. Modelación de la Deforestación 2014 -2044	32

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ARR	Aforestación, Reforestación y Revegetación
CCBA	The Climate, Community & Biodiversity Alliance
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FCA	Fondo de Compensación Ambiental
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ha	Hectárea
IFM	Improved Forest Management
kg	Kilogramo
PD	Project Description
REDD	Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación de bosques
t	Tonelada
VCUs	Voluntary Carbon Units
VCS	Verified Carbon Standard

1. Introducción

El presente informe contiene la memoria técnica de la modelación de la deforestación futura para la jurisdicción de Corpochivor para el periodo 2014-2044. En primer lugar se mencionaran cada uno de los insumos empleados, seguido de la metodología y los resultados obtenidos.

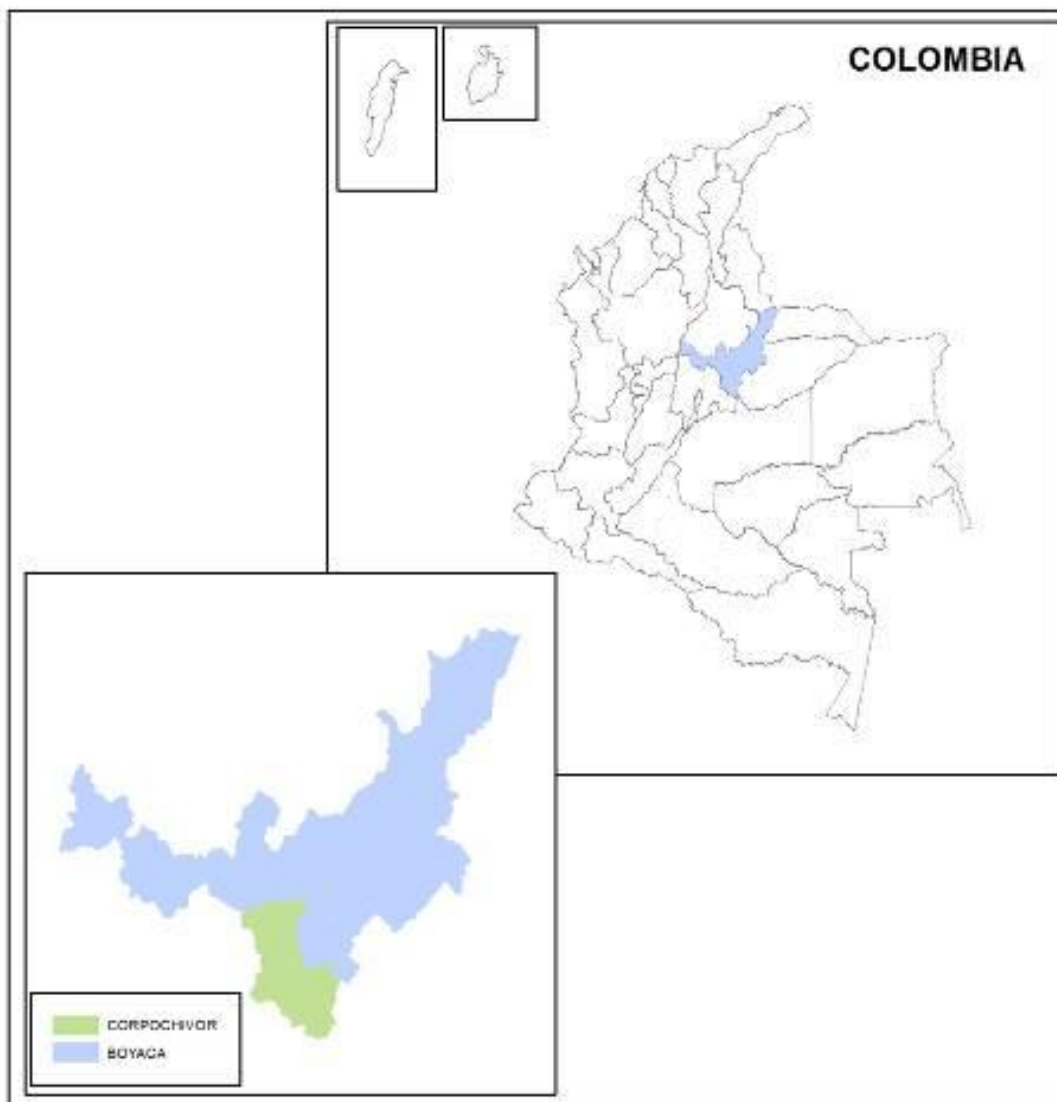
El ejercicio fue realizado con el programa Dinamica EGO que permite modelizar dinámicas ambientales a partir de la generación de escenarios futuros para así comprender su evolución en el tiempo. La simulación buscó determinar el cambio de la cobertura boscosa basado en información geográfica (archivos raster) de los años 2005 y 2014 identificando las variables asociadas y factores relacionados con el cambio de Bosque a No Bosque, y haciendo uso de la cobertura de año 2010 para validar el resultado.

Tabla 1. Áreas de cobertura boscosa años 2005, 2010 y 2014

Año	Área por Cobertura (has)		
	Bosque	No Bosque	Sin información
BNB_2005	62598,11	223055,83	27320,85
BNB_2010	53691,18	231962,76	27320,85
BNB_2014	55334,48	230319,45	27320,85

2. Localización

Ilustración 1. Mapa de localización jurisdicción de Corpochivor



La Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPOCHIVOR está localizada al sur del departamento de Boyacá, cuenta con un área de 3109,77 km². Su territorio oscila entre los 400 y 3500 m.s.n.m. con una gran variedad de climas y una población estimada de 192238 al año 2005. La jurisdicción de la Corporación está compuesta por un total de 25 municipios agrupados en cinco provincias: Márquez, Neira, Centro, Oriente y Lengupa.

En cuanto a los ecosistemas estratégicos existentes en la región, Corpochivor cuenta con los Páramos Rabanal, Mamapacha, Cristales, Castillejo, Bijagual, San Cayetano, y otras áreas estratégicas como Cuchilla Negra, Cuchilla el Varal, Cuchilla San Agustín, Cuchilla Calichana, Alto La Aguja, Cuchilla Buenavista, además de ser surcado por las aguas de los ríos Garagoa, Lengupa, Guavio y Upía cuyas aguas drenan al río Meta y este a su vez al río Orinoco.

3. Metodología

3.1. Insumos cartográficos

Como se mencionó inicialmente la modelación partió de las capas (shapefiles) de Bosque/NoBosque suministrados a la Corporación por el IDEAM, capas que se encuentran a escala 1:100.000 que fueron generadas a partir del procesamiento de imágenes Landsat y que contienen áreas sin información derivado de la alta nubosidad que se presenta en la zona durante gran parte del año y que imposibilita la toma con calidad absoluta, además para el análisis de las variables que inciden de manera significativa en la deforestación se adelantó una revisión preliminar de las condiciones específicas de la región y se estableció que los elementos a considerar son:

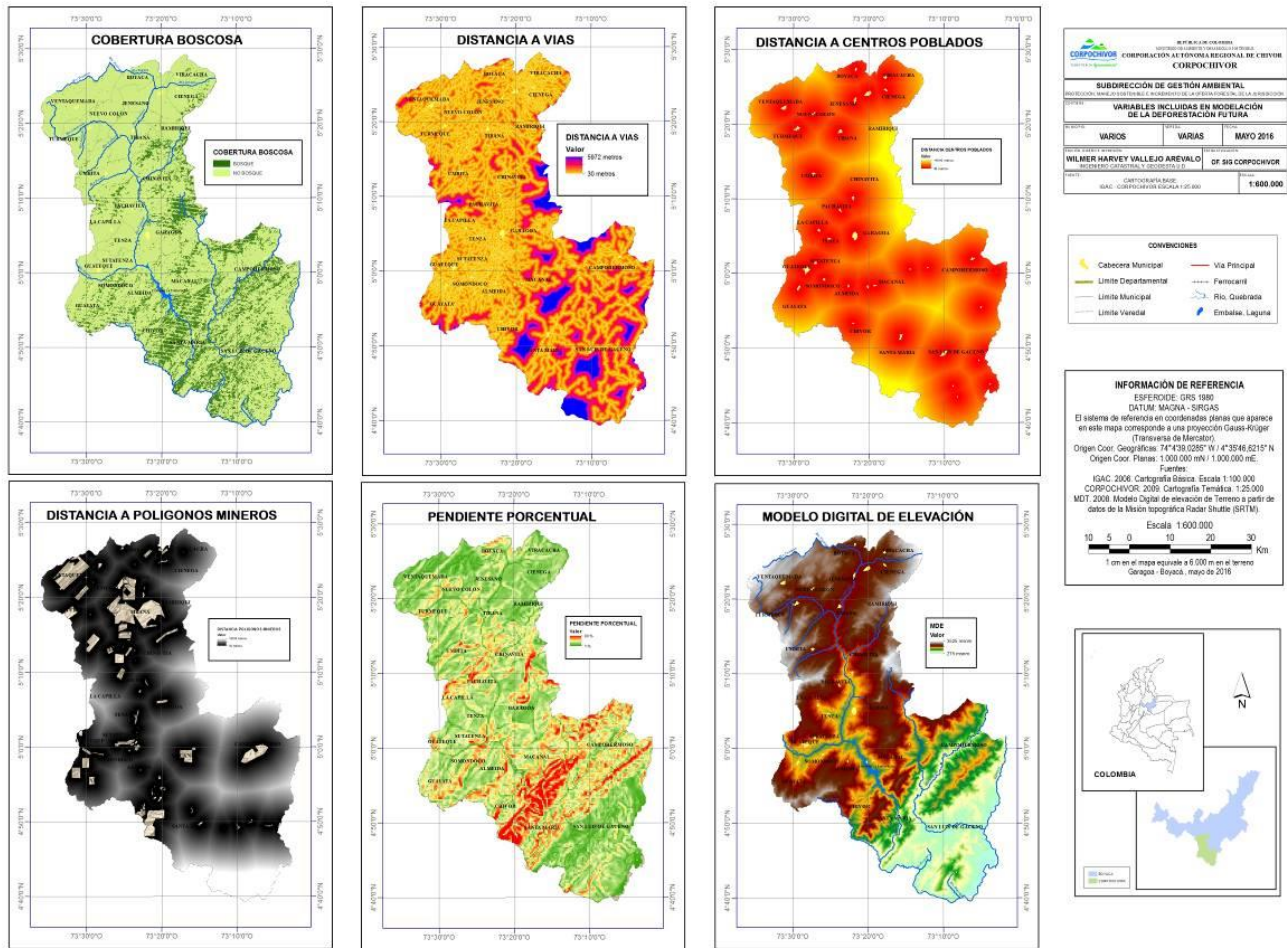
- * Distancia a las vías
- * Distancia a los centros poblados
- * Distancia a las zonas de explotación minera (Licencias Ambientales)
- * Pendiente porcentual del terreno
- * Modelo Digital de Elevación

Tabla 2. Insumos cartográficos requeridos en la modelación

Insumo Cartográfico	Descripción	Fuente
Mapas de Cobertura Boscosa	Mapas de cobertura boscosa para los años 2000, 2005 y 2014	CORPOCHIVOR - IDEAM, capas que se encuentran a escala 1:100.000
Distancia a las vías	Distancia euclidiana a vías	Calculada a partir del Shape de vías, Del año 2000 de IGAC
Distancia a los centros poblados	Distancia euclidiana a los centros poblados (zonas urbanas)	Calculada a partir del Shape de zonas urbanas, Del año 2000 de IGAC
Distancias a las zonas de explotación minera	Distancia euclidiana a los polígonos de explotación minera	Calculada a partir del Shape de polígonos mineros licenciados por la Corporación, Del año 2015 de Corpochivor.
Pendiente porcentual del terreno	Raster de pendiente que relaciona el grado de inclinación del terreno.	Elaborado a partir del Modelo de Elevación Digital de la Corporación, Del año 2008.
Modelo Digital de Elevación - MDE	Raster que representa el DEM.	DEM elaborado a partir de datos de la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM) del año 2008.

En un primer ejercicio se había considerado la inclusión de la distancia a las fuentes hídricas, pero dicho parámetro fue descartado puesto que debido a la topografía de la zona y el caudal de las fuentes no es posible transportar madera ni productos del Bosque por este medio, luego no se convierte en un factor de riesgo.

Ilustración 2. Distribución espacial de las variables

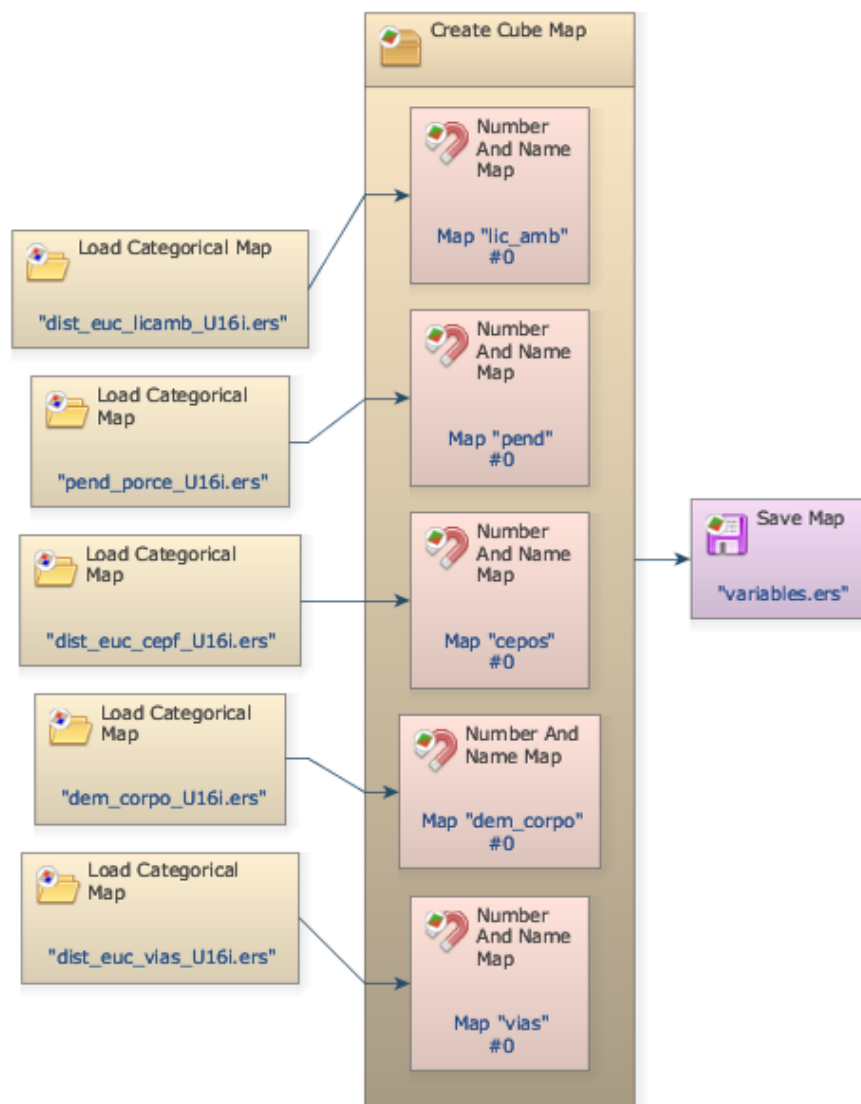


Los insumos usados corresponden a información suministrada por la Corporación en archivos vector y raster que para el caso de las vías, centros poblados y licencias ambientales se genero un raster de la distancia euclidiana, mientras que las pendientes y el modelo digital de elevación (DEM) por ser variables continuas en el espacio ya venían en dicho formato.

3.2. Cubo de variables

Teniendo en cuenta que Dinamica sólo soporta datos en formato raster, cada uno de los insumos fue convertido en archivo ERMapper (.ers) conservando en todos los casos características idénticas en cuanto a sistema de coordenadas, tamaño de pixel, tamaño de raster y el tamaño de bits de información que para todos los casos correspondía a (Unsigned 16 Bit Integer [0, 65535]). Una vez homogenizada la información se procedió a compilar las variables asociadas a los procesos de deforestación. Para esto el programa permite mediante un modelo generar un "cubo raster" que es un único archivo que permite manejar todas las variables de manera conjunta.

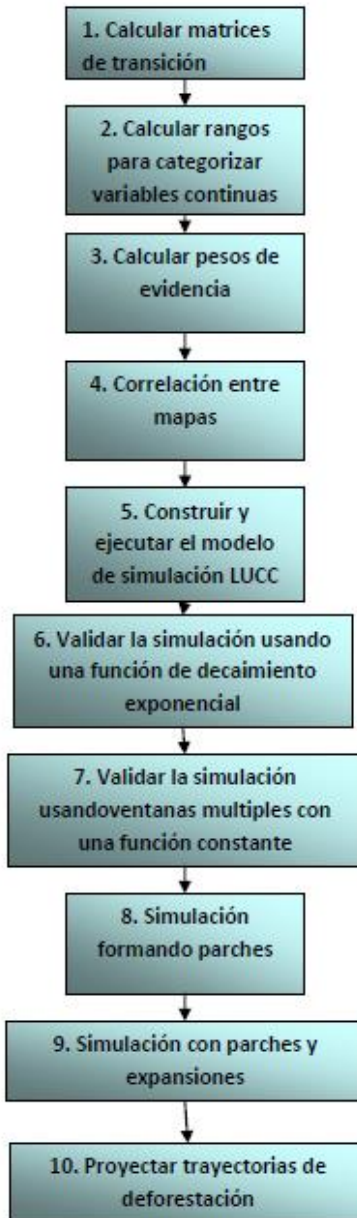
Ilustración 3. Diagrama modelo de generación del cubo raster



3.3. Modelación

El proceso de simulación con Dinamica esta determinado por una serie de pasos lógicos cuya meta es calibrar, ejecutar y validar un modelo de cambio en el uso y la cobertura del suelo resultante de la intervención de agentes o causas y que esta detallado en el diagrama de flujo a continuación:

Ilustración 4. Diagrama de flujo proceso de modelación



La secuencia de pasos se puede agrupar en cuatro procesos fundamentales que constituyen la estructura del software Dinamica para la modelación de cambio de uso y cobertura así:

- * Calibración del modelo
 - Cálculo de matrices de transición
 - Cálculo de los Rangos de Pesos de Evidencia
 - Cálculo pesos de evidencia
 - Análisis de correlación de las variables
- * Simulación
 - Mapas de probabilidad de cambio
- * Validación
 - Validar la simulación usando una función de decaimiento exponencial
- * Proyectar
 - Proyectar trayectorias de deforestación

4. Resultados

4.1. Matrices de transición

Este cálculo corresponde a la matrices de deforestación que describen de un lado la tasa de deforestación anual desde el año 2000 hasta el año 2012 (matriz de múltiples pasos) que muestran que el bosque esta cambiando a una tasa de 2,32% de un año a otro, y de otro lado la matriz que relaciona la tasa de deforestación total para el mismo periodo (matriz de único paso) cuyo resultado muestra una tasa de 27,9% para el total de los 12 años. Para el caso de este análisis solo se tiene en cuenta el cambio de cobertura de Bosque (1) a No Bosque (2) y los resultados se relacionan a continuación.

Ilustración 5. Diagrama modelo de cálculo de las matrices de transición

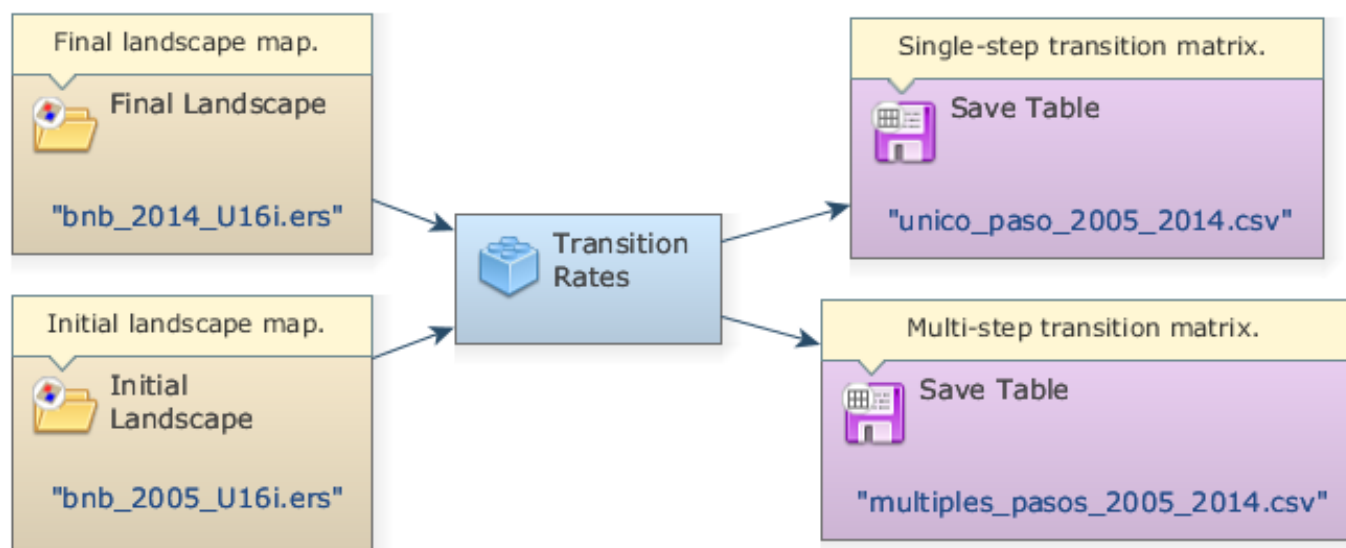


Tabla 3. Matriz de transición de múltiples pasos

Matriz de transición de múltiples pasos		
De	A	Tasa
Bosque (1)	No Bosque (2)	0,0189

Tabla 4. Matriz de transición de único paso

Matriz de transición de único paso		
De	a	Tasa
Bosque (1)	No Bosque (2)	0,1709

4.2. Rangos para establecer pesos de evidencia

Para determinar el nivel de influencia de cada una de las variables en los procesos de deforestación, Dinamica utiliza el método geo-estadístico de pesos de evidencia que genera un mapa de probabilidades de transición a partir de un rango establecido por el usuario. Como entradas para la generación del archivo de rangos se ingresaron los raster de Bosque/NoBosque de los años inicial y final, y el archivo de variables. La función de pesos de evidencia permite asignar la categoría de las variables ingresadas que para el caso corresponden en su totalidad a estadísticas no categóricas.

Partiendo de que los pesos de evidencia se basan en el método Bayesiano que calcula el efecto que tiene una variable espacial sobre la ocurrencia de una transición, se fijaron los siguientes rangos para cada variable.

Ilustración 6. Diagrama modelo fijación de rangos de pesos de evidencia

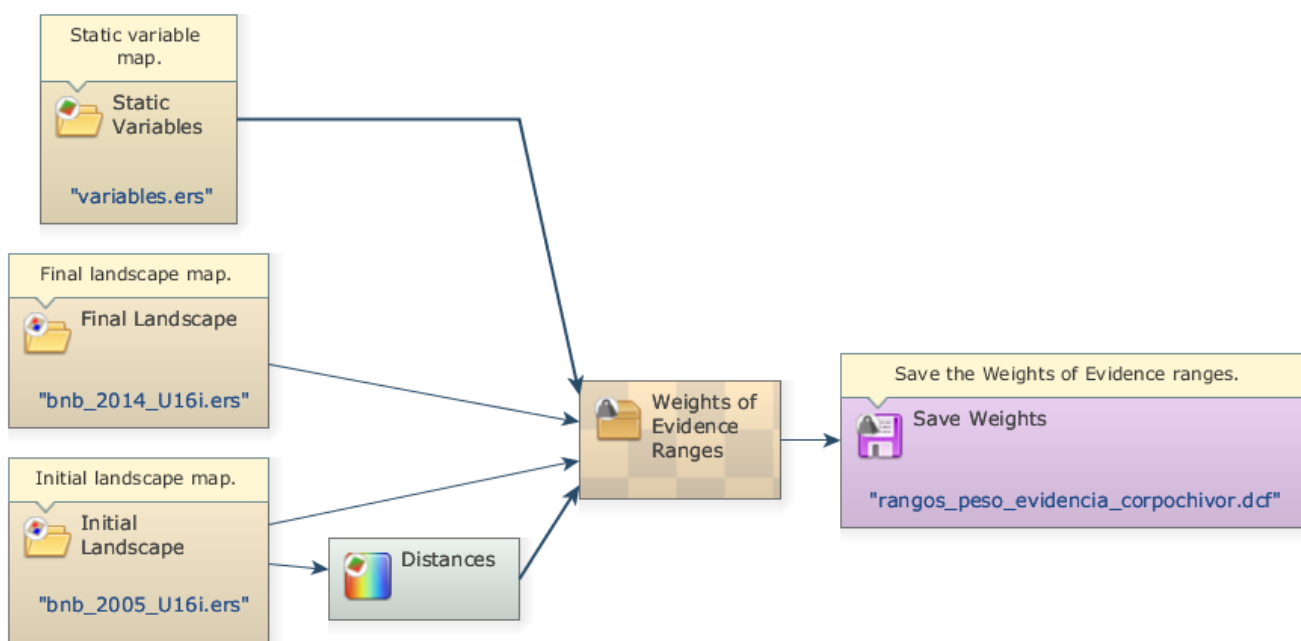


Tabla 5. Rangos de pesos de evidencia

Variable	Incremento de la variable	Valor Mínimo	Valor Máximo
Distancia a 2 (No Bosque)	50	0	700
Distancia a centros poblados	1000	0	15000
Distancia a licencia ambientales	500	0	18000
Distancia a vías	400	0	6000
DEM	100	0	3500
Pendiente (Porcentual)	20	0	100

4.3. Coeficientes de pesos de evidencia

Una vez determinados los rangos, Dinamica me permite establecer los pesos de evidencia a través de una función que usa como datos de entrada los mapas inicial y final de cobertura boscosa, el archivo de variables y el archivo generado en el paso anterior. Ejecutada la función de pesos se obtiene una matriz para cada una de las variables, en la que de acuerdo a los rangos establecidos previamente se determina el nivel de significancia de cada intervalo.

Cabe aclarar que si bien en la matriz de pesos se incluye un ítem que identifica cuales de los rangos son significativos para mantenerlos en la modelación; por experiencia en ejercicios anteriores se puede afirmar que los rangos con pesos negativos no aportan luego deben ser eliminados, así mismo los pesos muy cercanos a cero (0) aunque pueden tener algún tipo de influencia esta puede considerarse muy mínima y en algunos casos en cambio de aportar puede generar ruido y distorsionar el resultado final de la modelación. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se decidió tomar en cuenta únicamente los valores positivos de los pesos espaciales relacionados en la Tabla 6.

Ilustración 7. Diagrama modelo de cálculo de los pesos de evidencia

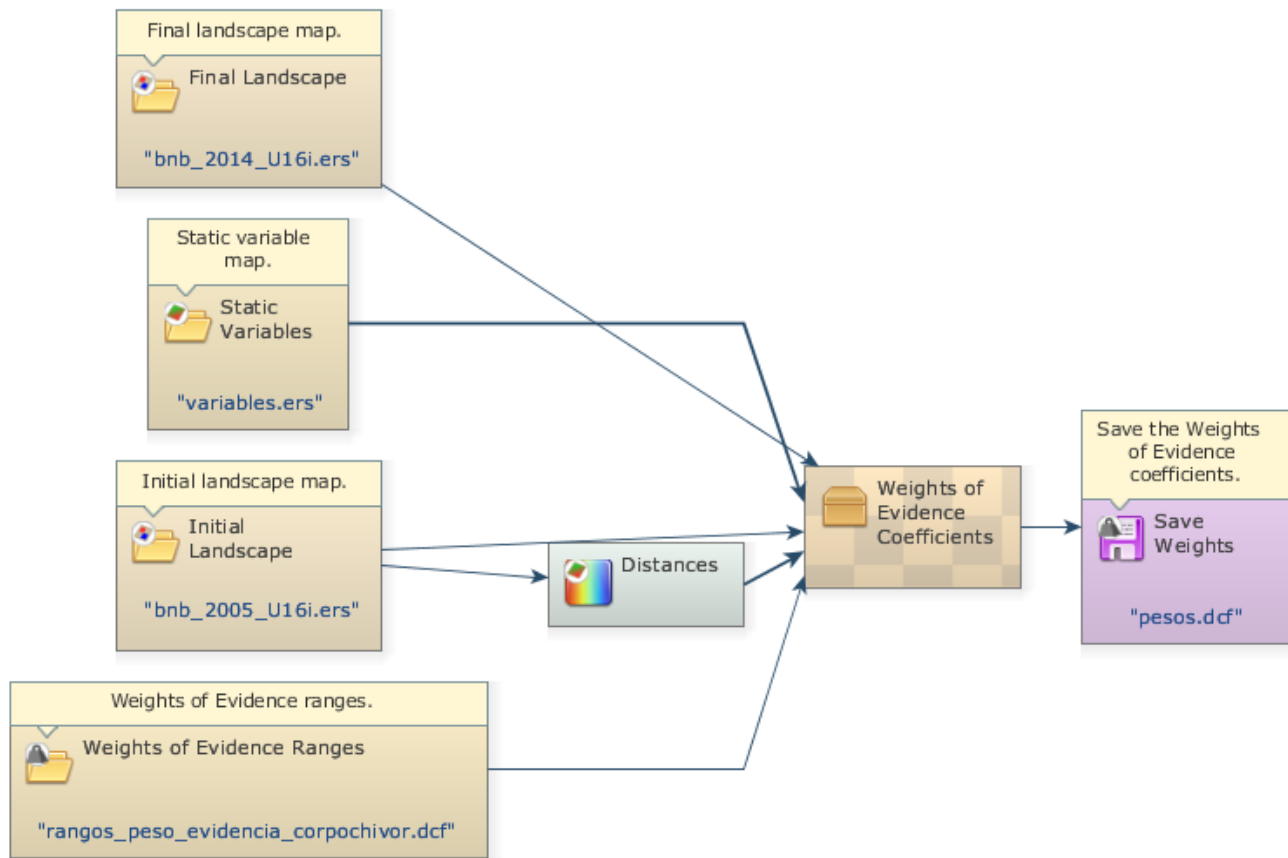


Tabla 6. Valores resultantes de pesos de evidencia con rangos a eliminar señalados

```

Transition: 1->2 Variable: static_var/cepos
-----
Range                Possible   Executed   Weight
                    Transitions Transitions Coefficient Contrast Significant?
-----
0 <= v < 1000      29271     15538     1.07193327442073  1.12413895102142  yes
1000 <= v < 2000   66747     30173     0.756056212742044  0.843082618078438  yes
2000 <= v < 3000   91038     35606     0.505803452098239  0.585401065909802  yes
3000 <= v < 4000   108951    34407     0.175316810416703  0.207014120980757  yes
4000 <= v < 5000   109898    28868     -0.0836394078219587 -0.0979416535258209  yes
5000 <= v < 7000   171665    36101     -0.374676954305944  -0.476110997662019  yes
7000 <= v < 8000   53069     8516      -0.706286411245036  -0.751509648412042  yes
8000 <= v < 15000  107946    17002     -0.72846661483882  -0.829745715399055  yes
-----
                        738585    206211
    
```

Tabla 7. Matriz de pesos de evidencia definitivos

VARIABLE	INTERVALO RANGO		PESO
Distancia a áreas sin bosque	0	50	0,783800967378541
Distancia a centros poblados	0	1000	0,979560499551121
	1000	2000	0,656165546776916
	2000	3000	0,426305974996242
	3000	4000	0,217777356367019
	4000	150000	0
DEM	0	300	2,0401300022757
	300	600	0,0728800900639032
	600	1000	0,156796651628659
	1000	1500	0,0943411546900795
	1500	2000	0,287930253998238
	2000	3500	0,058522322484262
Distancia a licencias ambientales	0	100	0,328012720424758
	100	300	0,269051040046547
	300	500	0,278339687171764
	500	1000	0,102884271906099
	1000	2000	0,220612851660253

VARIABLE	INTERVALO RANGO		PESO
	2000	3000	0,164466824881481
	3000	18000	0,134180796805367
Pendiente porcentual	0	20	0,243932781919889
	20	100	0
Distancia a vías	0	400	0,377016794729914
	400	6000	0

4.4. Análisis de correlación de variables

Partiendo de la premisa de que en el cálculo de los pesos de evidencia se emplea el método Bayesiano en el que el efecto de una variable espacial sobre una transición es calculado de manera independiente. Se hace necesario aplicar alguna medida que permita la verificación de esta inferencia, para lo cual Dinamica a través de una función establecida incorpora la aplicación del test de Cramer y el test de Información de Incertidumbre - Conjunta que arrojan los valores de correlación entre las variables ingresadas.

Ilustración 8. Diagrama modelo de análisis de correlación de variables

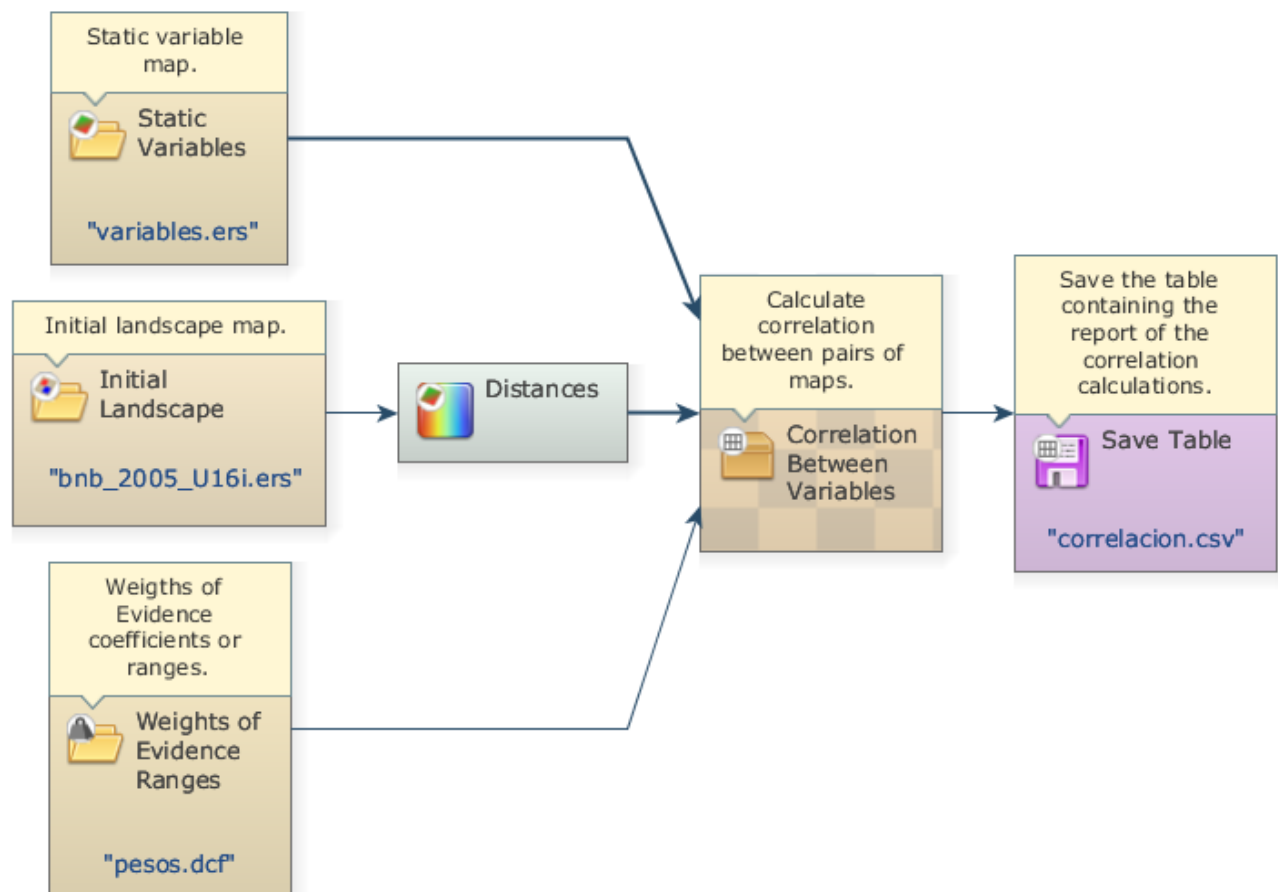


Tabla 8. Matriz de correlación de variables

Trasion_From*	Trasion_To*	First_Variable*	Second_Variable*	Chi_2	Crammer	Contingency	Joint_Entropy	Joint_Uncertainty
1	2	distance/dista...	static_var/cepos	18423.316...	0.1638361...	0.1616806...	1.763957379...	0.014819570040...
1	2	distance/dista...	static_var/dem_c...	14061.927...	0.1431076...	0.1416643...	2.190966028...	0.009361138542...
1	2	distance/dista...	static_var/lic_amb	978.91006...	0.0385325...	0.0385039...	1.908502050...	0.000772108391...
1	2	distance/dista...	static_var/pend	11403.010...	0.1291019...	0.1280393...	1.321829181...	0.012465532792...
1	2	distance/dista...	static_var/vias	19969.666...	0.1731982...	0.1706575...	1.323736067...	0.022405009342...
1	2	static_var/cepos	static_var/dem_c...	139930.63...	0.1012101...	0.1983965...	2.717929484...	0.014026319760...
1	2	static_var/cepos	static_var/lic_amb	226530.06...	0.1335136...	0.2579879...	2.767930730...	0.025087981017...
1	2	static_var/cepos	static_var/pend	22136.319...	0.0806877...	0.0804263...	2.042161976...	0.003210418422...
1	2	static_var/cepos	static_var/vias	147836.00...	0.2147539...	0.2099667...	1.958847088...	0.024791234390...
1	2	static_var/de...	static_var/lic_amb	309794.94...	0.1271915...	0.2974523...	2.817145699...	0.035826191489...
1	2	static_var/de...	static_var/pend	319285.92...	0.3056546...	0.2923051...	2.023540679...	0.048298461959...
1	2	static_var/de...	static_var/vias	214492.86...	0.2581016...	0.2499117...	2.002450567...	0.031634619570...
1	2	static_var/lic...	static_var/pend	1878.6605...	0.0242976...	0.0242904...	2.151934436...	0.000274452852...
1	2	static_var/lic...	static_var/vias	157728.09...	0.2291654...	0.2233750...	2.068782915...	0.025841824981...
1	2	static var/pend	static var/vias	54159.470...	0.1298817...	0.1287999...	1.324712392...	0.012678652019...

De la matriz anterior se puede evidenciar que los valores de correlación por los diferentes métodos son bajos. Los valores de los índices varían de cero a uno y en la medida en que el valor se acerque a uno, las variables comparadas tienen mayor correlación, es decir son más dependientes, los valores de 0 indican que los mapas son completamente independientes y los valores de 1 son completamente dependientes. Los límites de tolerancia adoptados para los índices de Cramer y “Joint Information Uncertainty” fueron de 0,35 y 0,45 respectivamente, esto significa que los valores que sean menores de estos umbrales sugieren menos asociación entre las variables, por otro lado, los mayores valores indican que dichas variables deberán ser excluidas del análisis. Con estos resultados se finaliza el proceso de calibración del modelo y se da inicio a la construcción de la modelación.

4.5. Construcción modelo de simulación

Para la construcción de la modelación se deben ingresar como insumos: el paisaje inicial (Bosque/NoBosque 2005), el archivo de variables (Cubo de variables), matriz de transición de múltiples pasos y el archivo de coeficientes de pesos obtenidos en los pasos anteriores. El modelo de simulación creado en Dinamica toma el paisaje inicial y a través de una función de probabilidades que involucra las variables y los pesos permiten obtener escenarios tendenciales año a año de los paisajes resultantes. El modelo permite fijar el número de iteraciones que se correrá que para el caso corresponde a 9, es decir, la cantidad de años transcurrida entre el periodo inicial y final, sin embargo se tomó únicamente el resultado de la simulación correspondiente al periodo 5 (año 2010) para realizar la validación con el paisaje real.

Los modelos de deforestación futura en Dinamica responden a dos comportamientos fundamentales de formación de hotspots. De un lado los parches de deforestación existente pueden incrementar su tamaño en un proceso denominado "expand" o de otro lado se pueden generar nuevos parches en lo que se conoce como "patcher". La simulación de la deforestación por este último proceso requiere tres parámetros de entrada correspondientes a la media, la varianza y la isometría de los parches que tras la ejecución del mismo pueden mejorar los resultados de la simulación.

Luego de realizar ensayos con diferentes valores de parámetros se decidió aplicar los valores de 0.05 - 0.05 y 1 en cada ítem respectivamente teniendo en cuenta que la media de la similitud es la más alta de todas las opciones ejecutadas.

Tabla 9. Resultados de pruebas de simulación.

TABLA DE PRUEBA DE SIMULACION			RESULTADOS SIMILITUD	
MEDIA	VARIANZA	ISOMETRIA	1° MEDIA	2° MEDIA
1	1	1	0.39215237627133731	0.49044441941130984
1,5	1	1	0.36912511861637481	0.49382915540582756
1,5	1,5	1,5	0.31906232577265026	0.48228330856945084
0,5	0,5	0,5	0.31814477975421218	0.47524684108927973
0,05	0,05	1	0.52721735508039502	0.48874189042280936
0,005	0,005	1	0.52603840538946744	0.48827905286305401
0,045	0,045	1,5	0.52616696036885746	0.4863192399884072
10	0,045	1,5	0.19171570511880498	0.43951700962560558
0,0001	0,045	1,5	0.52765124472855451	0.48839008494153979
100	0,045	1,5	0.13700499406493888	0.39847141787024282
0,36	0,72	1,5	0.44412572619462382	0.48596092556974058
0,05	0,05	2	0.52419009772189218	0.48608493888817561

TABLA DE PRUEBA DE SIMULACION			RESULTADOS SIMILITUD	
MEDIA	VARIANZA	ISOMETRIA	1° MEDIA	2° MEDIA
0,05	0,05	0,05	0.52530142511195577	0.48694011222879147
0,05	0,05	1,5	0.52565446819626171	0.48774703776942452
0,055	0,5	1,5	0.50747344366238523	0.48537218039416302
0,05	0,05	0,5	0.52535296493687389	0.48717786171440813
0,0045	0,045	1	0.52633244924649536	0.48840012353849316

Ilustración 9. Diagrama modelo de simulación del paisaje del año 2010

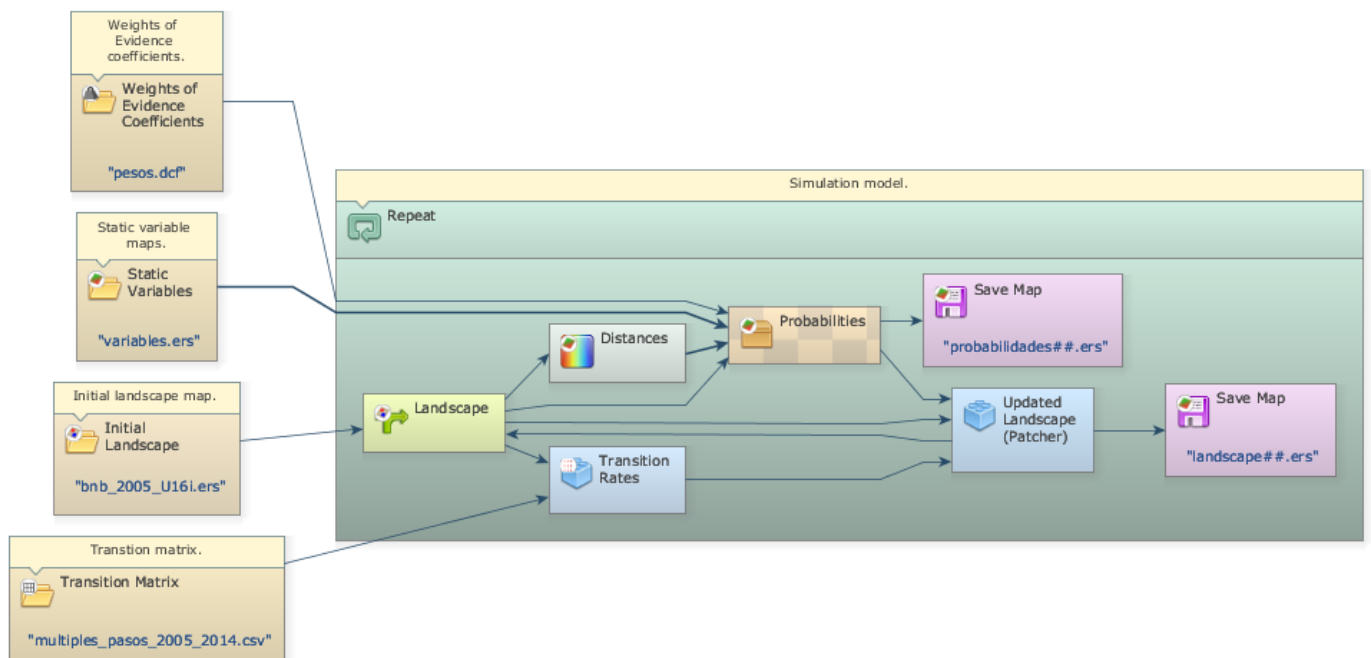
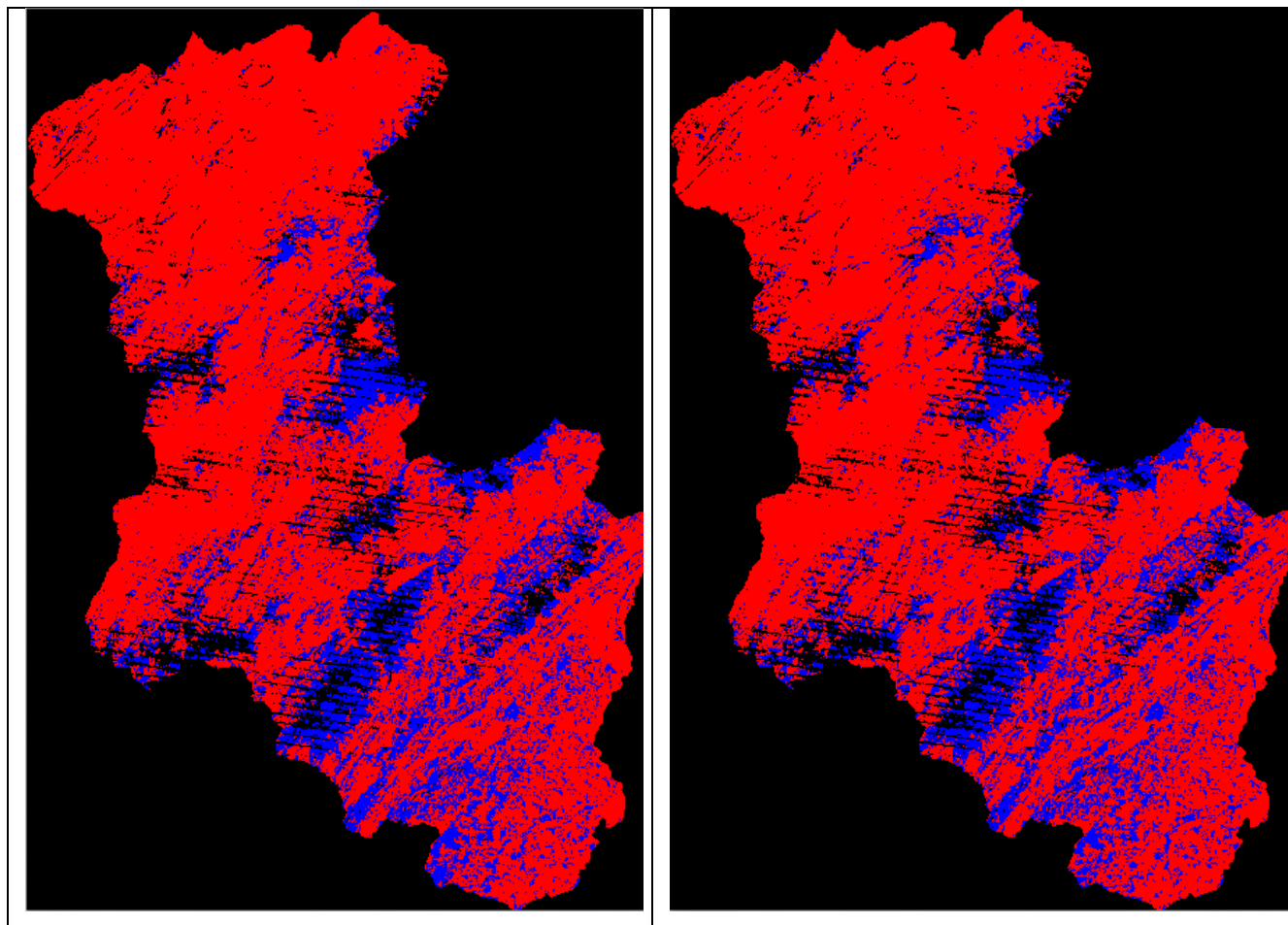


Ilustración 10. Salida gráfica paisaje modelado 2010 (izq) Vs. paisaje Inicial 2010 (der)



4.6. Validación mediante la función exponencial de decaimiento

Tras la ejecución de la modelación inicial se procede a realizar una validación de los resultados con el fin de identificar la pertinencia del modelo en la predicción del comportamiento de la dinámica de la cobertura boscosa en la jurisdicción. Para esto el programa cuenta con dos tipos de validación sistemática, la primera de estas se refiere a la validación usando una función de decaimiento constante que provee un método de verificación basado en la comparación de jerárquica de patrones difusos que como su nombre lo indica haciendo uso de una función de decaimiento en la que se determina una distribución del peso de la celdas en una ventana específica, en función de su distancia a la celda central.

El modelo utiliza como insumo el paisaje observado y paisaje modelado de un año determinado y genera un mapa de cambios para ambos casos, dichos mapas son comparados entre si obteniendo una salida gráfica que permite identificar el nivel de similitud de los resultados y así visualmente establecer la exactitud de modelo de simulación aplicado.

Ilustración 11. Diagrama modelo validación por función exponencial de decaimiento

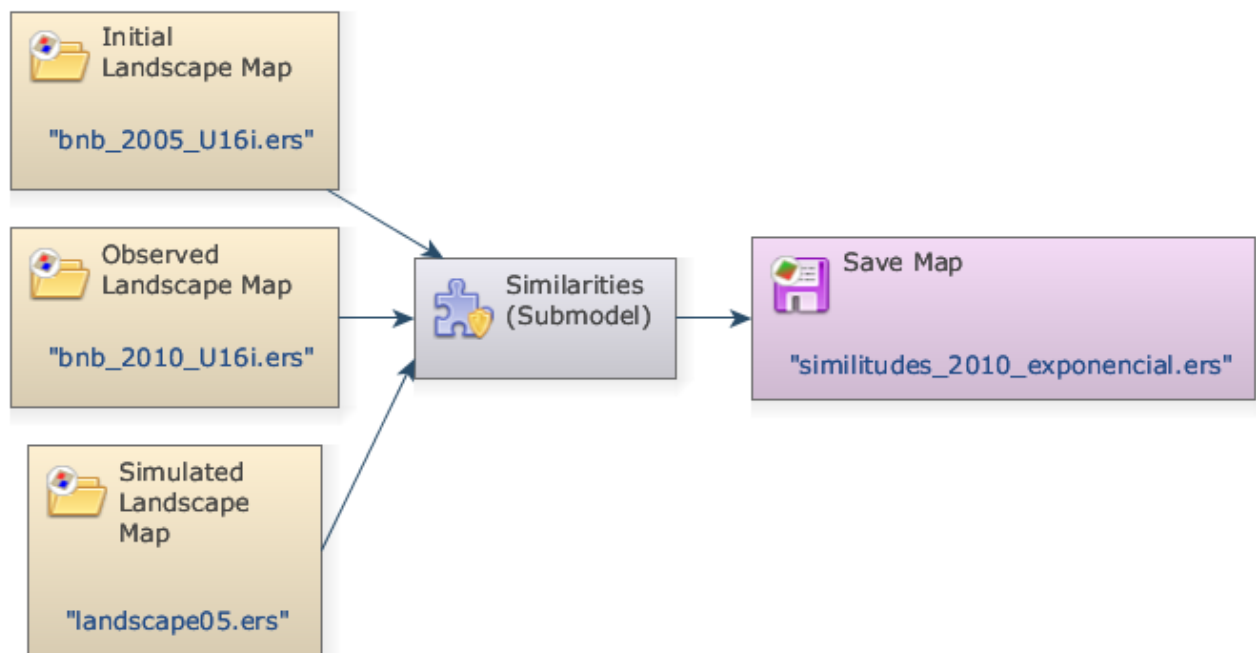
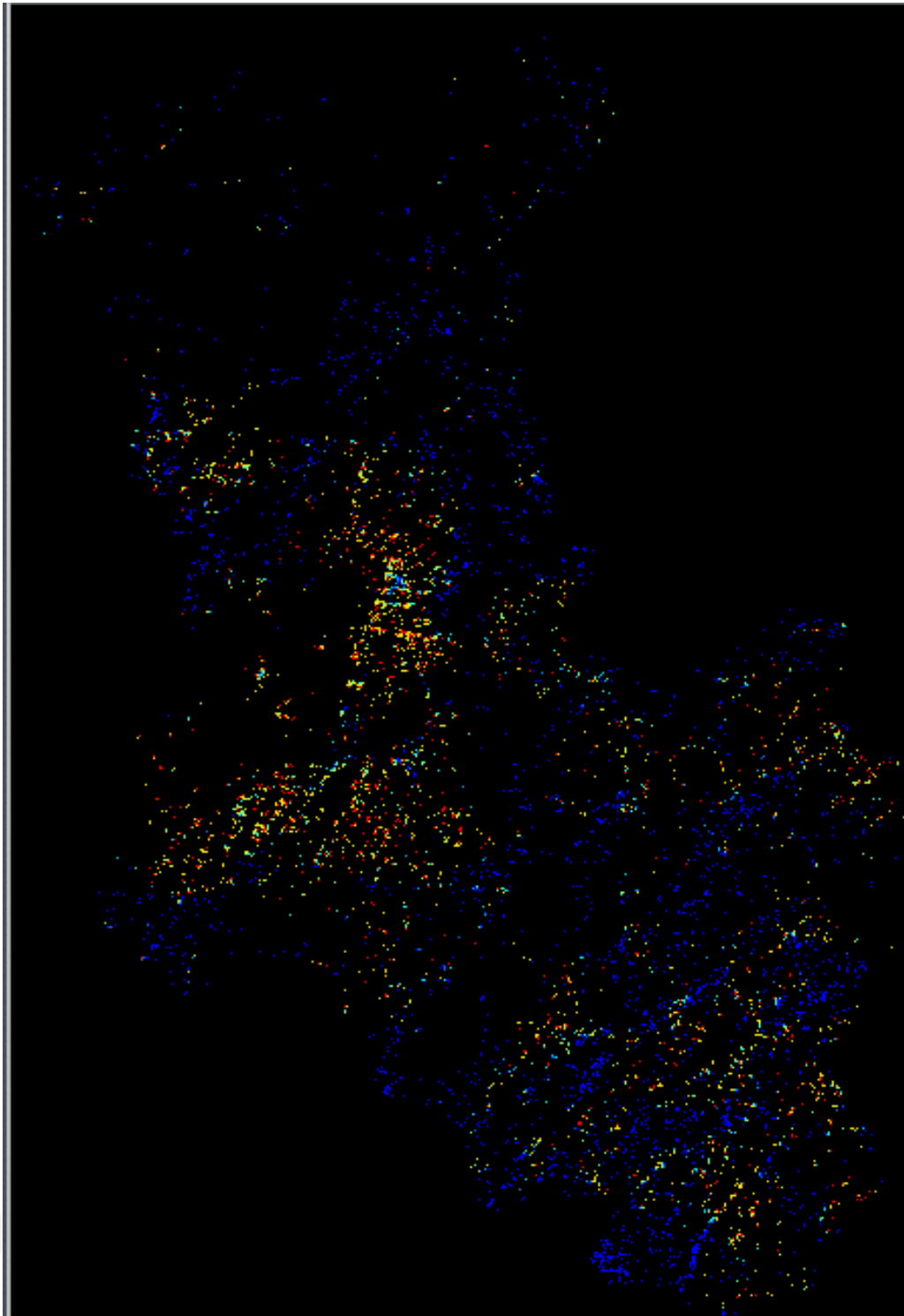


Ilustración 12. Salida gráfica similitudes entre simulación y paisaje observado



En la salida gráfica anterior se muestra el ajuste espacial de los datos de deforestación modelados para el año 2010, los colores rojos y amarillo evidencian un ajuste alto y moderado respectivamente, mientras que el color

azul indica un ajuste bajo. Respecto a este resultado se establece que la modelación presenta un comportamiento muy similar al paisaje real en los procesos de expansión de los parches existentes, sin embargo en la formación de nuevos parches el ajuste es menor.

4.7. Validación mediante función de decaimiento constante con ventanas múltiples

Este otro método de medición del ajuste espacial entre los mapas retoma el modelo anterior aplicado la función de decaimiento dentro de una ventana con tamaño variable, no obstante hace un conteo del número de celdas deforestadas y si es el mismo asigna el valor máximo de similitud sin importar su ubicación dentro de la ventana. El tamaño de las ventanas será cambiado sistemáticamente desde 1*1 hasta 11*11 celdas con un incremento de dos en dos.

Ilustración 13. Diagrama modelo validación función de decaimiento constante con ventanas múltiples

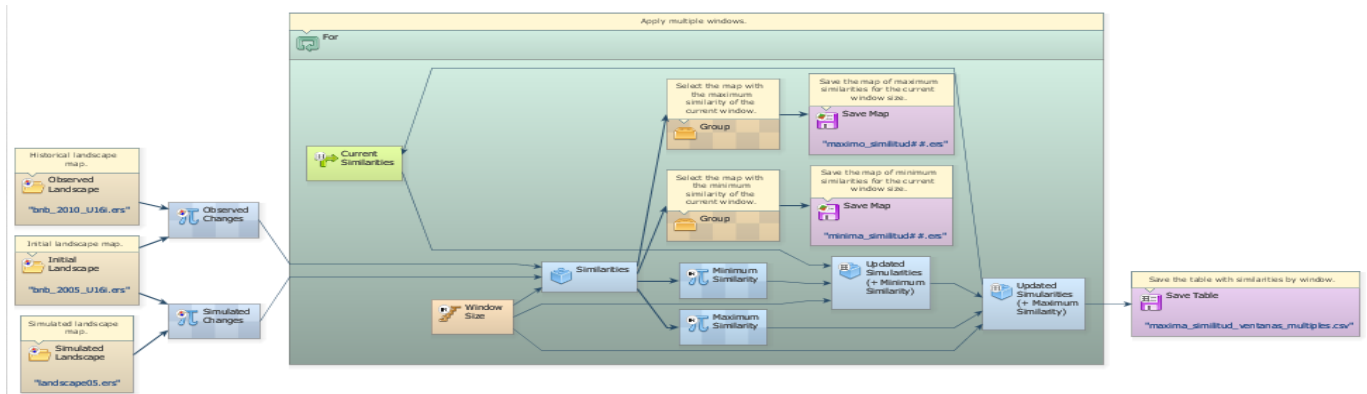
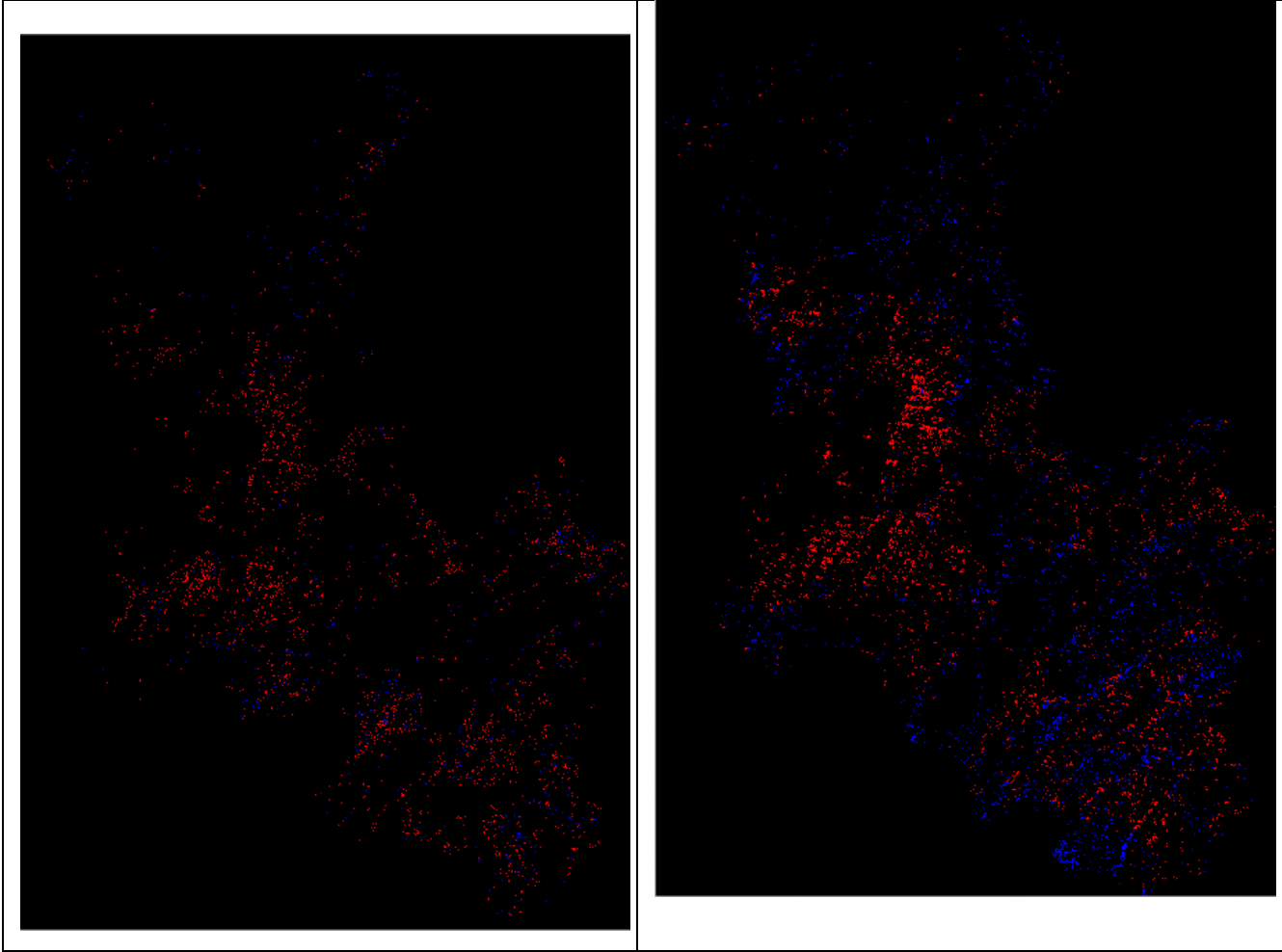


Tabla 10. Valores de similitud para ventanas múltiples.

Tamaño de la ventana	Mínima similitud	Máxima similitud
1	0,155452899106787	0,322692663034821
3	0,400012277847693	0,442973653190608
5	0,477009730194297	0,557344929752461
7	0,51436508180116	0,656105642103922
9	0,539757205561865	0,734046959125808
11	0,559271309739403	0,79604319984708

Los resultados contenidos en la tabla evidencian el hecho de que a mayor tamaño de ventana existe un mayor ajuste espacial entre el paisaje simulado y el paisaje real para el año 2010.

Ilustración 14. Distribución espacial de la validación con máxima similitud (izq.) Vs. mínima similitud (der.)



4.8. Ejecución de la simulación definitiva

Una vez realizadas las verificaciones al modelo estructurado en cuanto a insumos y características de entrada se hace necesario fijar un último parámetro para correr la simulación definitiva que determinara las proyecciones de las trayectorias de deforestación en la jurisdicción para el periodo 2014 -2044. El parámetro a establecer corresponde al porcentaje de cambio total asignado a la expansión y a la formación de nuevos parches, es decir, cuanto del total de la zona deforestada se debe a la expansión de los parches existentes y cuanto a la formación de nuevos parches.

Para hacer esa asignación debemos tener en cuenta los resultados de la validación de los que se puede extraer el hecho de que en el paisaje de Corpochivor la dinámica de la deforestación responde a la tendencia de la expansión de los parches existentes y no así a la formación de nuevos. Teniendo en cuenta lo anterior se decide asignar una relación de 80% al expander y un 20% al patcher.

Los insumos requeridos por el modelo corresponden a: el paisaje inicial (Año 2014), la matriz de transición de múltiples pasos, el archivo de coeficientes de pesos de evidencia y el archivo de variables. Cada uno de los mapas generados para los treinta años que estima la proyección toma como entrada el mapa del año inmediatamente anterior y aplica la transición correspondiente.

Ilustración 15. Diagrama modelo definitivo de simulación de paisaje 2014 – 2044

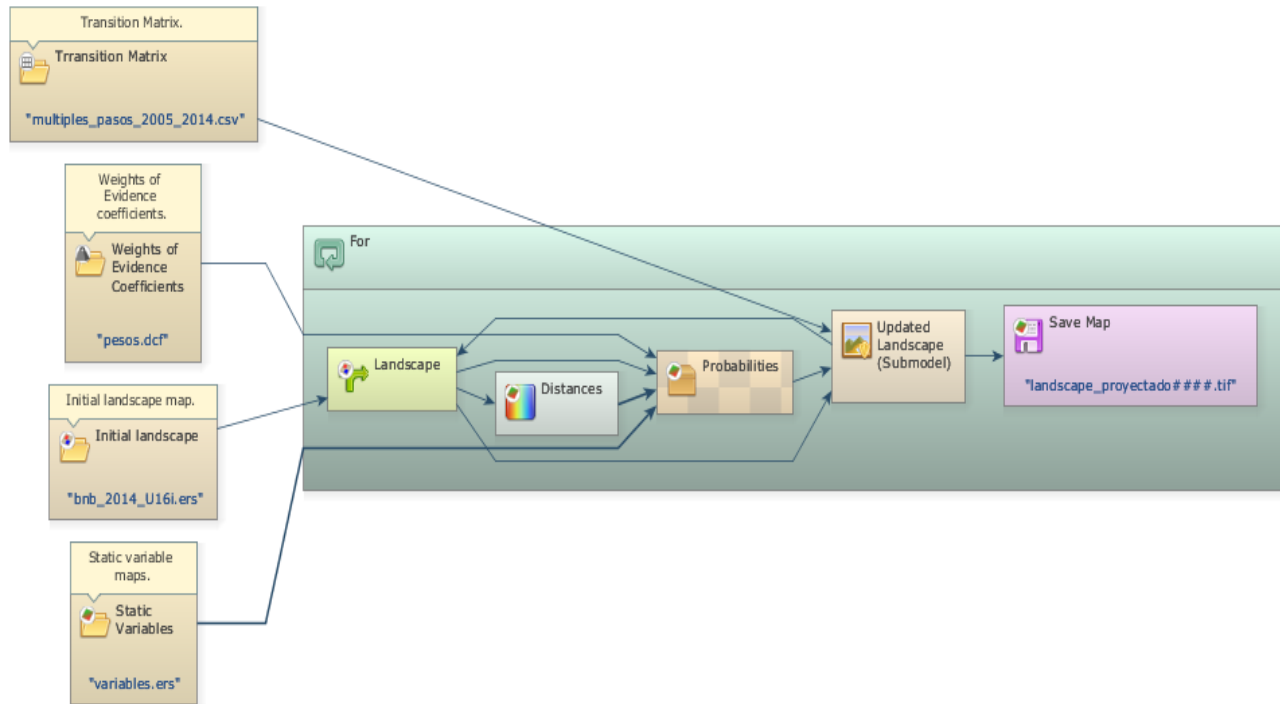
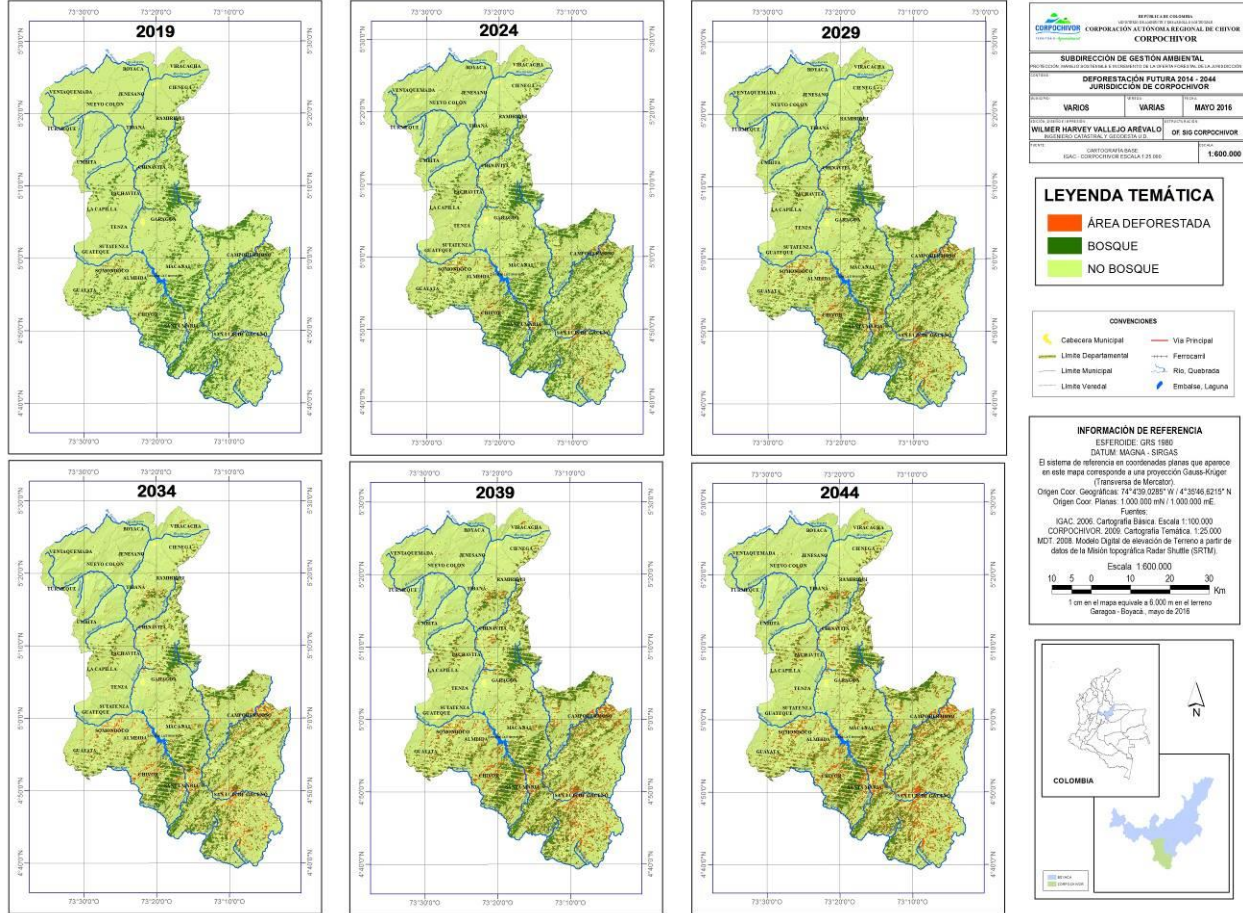


Ilustración 16. Modelación de la Deforestación 2014 -2044



5. Productos obtenidos y anexos

Los resultados obtenidos en cada uno de los pasos de la modelación se relacionan en la Carpeta "04_ Resultados" que incluye:

04_ Resultados	1_Matriz de transición
	2_Rangos de pesos de evidencia
	3_Coeficientes de pesos de evidencia
	4_Matriz de correlación de variables
	5_Simulación inicial 2005-2014
	6_Validación modelo de simulación
	7_Proyecciones deforestación RASTER
	8_Otros: Proyecciones deforestación VECTOR

Adicionalmente a los resultados de la modelación y tomando como base las proyecciones de la deforestación se generaron algunos archivos y documentos de apoyo relacionados en la carpeta "05_Documentos"

05_Documentos	ANEXOS MODELACIÓN	Shapefile "areas sin información"
		Shapefile "cobertura boscosa 2005, 2010, 2014"
		Shapefile "cobertura boscosa 2005, 2010 2014 sin información"
	DEFORESTACIÓN PERIODICA	Shapefiles deforestación anual y multianual para el periodo 2014 - 2044
	MATRIZ DE CAMBIO	Shapefiles usados para generar matriz de cobertura
		Shapefile "cambio de coberturas"
		Archivo excel "matriz de cambio"
	Shapefile "Bosques_2014_x_ZV"	Bosques año 2014 por Zona de Vida

Esquema de Retribución por Servicios Ambientales
(ERSA) | para la Conservación de los Bosques y
Gestión de Fuentes Hídricas en la
jurisdicción de CORPOCHIVOR



PBX: +57 (8) 7500661 / Cr.5Nº 10 - 125 / Garagoa - Boyacá

www.corpochivor.gov.co