



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL CAMBIO EN LA CONECTIVIDAD DEL PAISAJE (1975-2008)
DE LA CUENCA DEL LAGO CUITZEO, MICHOACÁN COMO MARCO PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN GEOGRAFÍA
ORIENTACIÓN EN MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

P R E S E N T A :
CAMILO ANDRÉS CORREA AYRAM

DIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL E. MENDOZA CANTÚ

CIGA

CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MÉXICO, D.F.

2012

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL:	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:	4
1.3 HIPOTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	5
1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
1.4.1 UBICACIÓN	6
1.4.2 GENERALIDADES DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	7
1.4.3 TIPOS DE COBERTURA VEGETAL	11
1.5 MARCO CONCEPTUAL	17
1.5.1 COBERTURA, ESTRUCTURA DEL PAISAJE Y PARCHES DE HÁBITAT	17
1.5.2 ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y LA CUANTIFICACIÓN DE PATRONES Y PROCESOS	18
1.5.3 PAISAJE Y CONECTIVIDAD	19
1.6 MARCO DE ANTECEDENTES	20
1.7 MARCO TEÓRICO	22
1.7.1 TEORÍA ECOLÓGICA DEL PAISAJE	22
1.7.2 TEORÍA DE GRÁFICAS	23
1.7.3 TEORÍA DE CIRCUITOS	23
1.8 MARCO REFERENCIAL	25
1.9 PROCESO METODOLÓGICO	26
1.10 BIBLIOGRAFÍA	28
CAPÍTULO II	33
ANÁLISIS DEL CAMBIO EN LA CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL DEL PAISAJE (1975-2008) EN LA CUENCA DEL LAGO CUITZEO, MICHOACÁN	33
2.1 INTRODUCCIÓN	33
2.2 OBJETIVO	34
2.3 METODOLOGÍA	34
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
2.4.1 CONFIGURACIÓN ESPACIAL EN EL NIVEL DE PAISAJE	37

2.4.2 COMPOSICIÓN DEL PAISAJE	41
2.4.3 CONECTIVIDAD Y AISLAMIENTO EN EL NIVEL DE PAISAJE	43
2.4.5 CONFIGURACIÓN ESPACIAL EN EL NIVEL DE CLASE (TIPOS DE COBERTURA)	44
2.4.6 COMPOSICIÓN DEL PAISAJE EN EL NIVEL DE CLASE.....	48
2.4.7 CONECTIVIDAD Y AISLAMIENTO EN EL NIVEL DE CLASE	51
2.5 CONCLUSIONES	58
2.6 BIBLIOGRAFÍA.....	59
CAPÍTULO III	62
ANÁLISIS DEL CAMBIO EN LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL (1975-2008) EN LA CUENCA DEL LAGO CUITZEO, MICHOACÁN.....	62
3. INTRODUCCIÓN	62
3.1 OBJETIVOS.....	63
3.2 METODOLOGÍA.....	63
3.2.1 SELECCIÓN DE ESPECIES FOCALES.....	63
3.2.2 MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES	65
3.2.3 VALORACIÓN DEL GRADO DE RESISTENCIA	67
3.2.4 SELECCIÓN DE PARCHES DE HÁBITAT	67
3.2.5 CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PATRONES ESPACIALES DE LOS PARCHES DE HÁBITAT.....	69
3.2.6 VALORACIÓN FINAL DE LA RESISTENCIA CON BASE EN OPINIÓN EXPERTA	70
3.2.7 CORROBORACIÓN EN CAMPO DE LOS PARCHES DE HÁBITAT SELECCIONADOS	71
3.2.8 ELABORACIÓN DE MAPAS DE RESISTENCIA DEL PAISAJE.....	72
3.2.9 MODELAMIENTO DE LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL.....	73
3.2.10 APLICACIÓN DE ÍNDICES INTEGRALES DE CONECTIVIDAD	76
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	79
3.3.1 CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS GENERALES DE LAS ESPECIES FOCALES	79
3.3.2 MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES FOCALES	79
3.3.3 SELECCIÓN DE PARCHES DE HÁBITAT.....	87
3.3.4 CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS PATRONES ESPACIALES DE LOS PARCHES DE HÁBITAT.....	94
3.3.5 VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA	100
3.3.6 CORROBORACIÓN EN CAMPO DE LOS PRINCIPALES PARCHES DE HABITAT	105

3.3.7 MODELAMIENTO DE LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL.....	108
3.3.8 IMPORTANCIA DE LOS PARCHES DE HABITAT EN LA CONECTIVIDAD DEL PAISAJE	121
3.4 CONCLUSIONES	128
3.5 BIBLIOGRAFÍA	130
CAPÍTULO IV	135
4.1 CONCLUSIONES GENERALES	135
ANEXOS	138

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación general del área de estudio	6
Figura 2	Mapa de distribución de suelos de la cuenca del lago Cuitzeo	9
Figura 3	Mapa de subcuencas y drenajes de la cuenca del lago Cuitzeo	10
Figura 4	Mapa generalizado de cobertura de la tierra	12
Figura 5	Perfil altitudinal y cobertura asociada en el centro de la cuenca	13
Figura 6	Bosques de pino municipio de Queréndaro	14
Figura 7	Matorrales secundarios en la cuenca del lago Cuitzeo	15
Figura 8	Pastizales inducidos	16
Figura 9	Ejemplo de gráfica	23
Figura 10	Ejemplo de ruta de mínimo costo entre dos nodos	24
Figura 11	Proceso metodológico	27
Figura 12	Descripción general del software FRAGSTATS	34
Figura 13	Mapa de cobertura de la tierra (1975-1996-2000-2003-2008)	38
Figura 14	Número de parches en el total del paisaje	39
Figura 15	Tamaño promedio de parches en el total del paisaje	39
Figura 16	Densidad de parches en el total del paisaje	39
Figura 17	Índice del parche más grande en el nivel de paisaje	41
Figura 18	Dominancia y uniformidad de Shannon en el nivel de paisaje	42
Figura 19	Índice de proximidad en el nivel de paisaje	43
Figura 20	Tamaño promedio de parche en el nivel de clase	45
Figura 21	Densidad de parches en el nivel de clase	45
Figura 22	Índice del parche más grande en el nivel de clase	47

Figura 23	Porcentaje en el total del paisaje	50
Figura 24	Área de cada tipo de cobertura	50
Figura 25	Índice de proximidad media en el nivel de clase	52
Figura 26	Índice de proximidad media para los bosques cerrados, abiertos y semiabiertos y matorrales	53
Figura 27	Índice de conectancia en el nivel de clase	55
Figura 28	Índice de conectancia para las coberturas forestales	55
Figura 29	Índice de cohesión en el nivel de clase	56
Figura 30	Descripción general del software MaxEnt	66
Figura 31	Descripción general del software GUIDOS	69
Figura 32	Ejemplo de cálculo de media truncada	71
Figura 33	Mapa de los parches de hábitat corroborados	71
Figura 34	Cálculo para obtener el mapa de resistencia acumulado	72
Figura 35	Descripción general de la herramienta Linkage Mapper	73
Figura 36	Descripción general del software Circuitscape	76
Figura 37	Descripción general del software Conefor Sensinode	77
Figura 38	Puntos de ocurrencia del gato montés	81
Figura 39	Puntos de ocurrencia del cacomixtle	82
Figura 40	Área bajo la curva ROC (AUC) para <i>Bassariscus astutus</i>	83
Figura 41	Área bajo la curva ROC (AUC) para <i>Lynx rufus</i>	84
Figura 42	Probabilidad de ocurrencia de <i>Bassariscus astutus</i>	86
Figura 43	Probabilidad de ocurrencia de <i>Lynx rufus</i>	87
Figura 44	Mapa de aptitud de hábitat (1975-2008)	91
Figura 45	Parches de hábitat seleccionados para el año 2008	92
Figura 46	Representatividad de área de hábitat óptimo para las especies focales	93
Figura 47	Ejemplo de clasificación morfológica de los parches de hábitat 2008	95
Figura 48	Área de los parches de hábitat mayores a 200 ha	96
Figura 49	Cambio en el área de los elementos conectores del paisaje para el gato montés	97
Figura 50	Cambio en el área de los elementos conectores del paisaje para el cacomixtle	97
Figura 51	Cambio en el área de las categorías <i>islet</i> y <i>perforation</i>	99
Figura 52	Distribución del grado de resistencia para el gato montes en el año 2008	103
Figura 53	Porcentaje de ocupación de las categorías de resistencia para el cacomixtle	104

Figura 54	Porcentaje de ocupación de las categorías de resistencia para el gato montés	105
Figura 55	Parche de hábitat No1	106
Figura 56	Parche de hábitat No2	106
Figura 57	Parche de hábitat No3	107
Figura 58	Parche de hábitat No4	107
Figura 59	Parche de hábitat No5	108
Figura 60	Corredores de menor costo normalizado del gato montés	112
Figura 61	Corredores potenciales como ejemplo de escenario de conservación para el año 2008	113
Figura 62	Corredores de menor costo normalizado del cacomixtle	115
Figura 63	Mapa de probabilidad de conectividad para el gato montés	118
Figura 64	Mapa de probabilidad de conectividad para el cacomixtle	119
Figura 65	Valores de IIC para las dos especies focales	122
Figura 66	Número de componentes (NC) para las dos especies focales	124
Figura 67	Importancia de los parches de hábitat en la conectividad general del paisaje	125
Figura 68	Rangos de importancia de los parches de hábitat	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Leyenda del mapa de cobertura de la tierra al año 2008	11
Tabla 2	Métricas de aislamiento y conectividad estructural	37
Tabla 3	Perfil de las características ecológicas generales de las especies focales	80
Tabla 4	Porcentaje de contribución de las variables al modelo de distribución del cacomixtle	84
Tabla 5	Porcentaje de contribución de las variables al modelo de distribución del gato montés	85
Tabla 6	Categorización de los tipos de cobertura para la selección de parches de hábitat	88
Tabla 7	Puntajes de aptitud de hábitat para cada variable	90
Tabla 8	Valoración final del grado de resistencia	101
Tabla 9	Información derivada de la rutas de mínimo costo del gato montés	109
Tabla 10	Relación de la distancia costo con la longitud de las RMC del gato montés	110
Tabla 11	Información derivada de la rutas de mínimo costo del cacomixtle	114
Tabla 12	Relación de la distancia costo con la longitud de las RMC del cacomixtle	114
Tabla 13	Características estructurales de los parches de hábitat según su importancia para la conectividad	126

RESUMEN

La cuenca del lago Cuitzeo es una importante área ecológica con una fuerte presión sobre las coberturas de tipo arbóreo y arbustivo, las cuales son elementos claves en el mantenimiento de la biodiversidad. En este sentido, se realizó un análisis del cambio en la conectividad del paisaje de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, entre los años 1975 y 2008, como marco para la identificación de áreas prioritarias para la conservación de la integridad ecológica de la cuenca. El análisis se abordó con base en dos ejes temáticos principales: La conectividad estructural y la conectividad funcional. Los periodos de estudio corresponden a 1975-1996, 1996-2000, 2000-2003, y 2003-2008. En este sentido, la conectividad estructural fue analizada mediante la aplicación de métricas del paisaje con base en los mapas de cobertura de cada periodo de tiempo previamente generalizados y estandarizados, posteriormente se realizó el análisis comparativo.

En cuanto a la conectividad funcional, primero se modeló la distribución potencial de dos especies focales con capacidad de dispersión contrastante, para determinar la aptitud y disponibilidad de hábitat potencial para cada especie. El modelo se elaboró utilizando puntos de ocurrencia y el enfoque de máxima entropía. Posteriormente, se calificó el grado de resistencia del paisaje por medio de opinión de expertos en la biología de las especies focales. En un rango de 0 a 100 se valoraron ocho variables que están relacionadas con la resistencia del paisaje. A medida que el valor se acerca a 100 mayor dificultad para el desplazamiento de la especie focal. Los valores finales se asignaron mediante el cálculo de la media “truncada”.

Posteriormente, se seleccionaron los parches de hábitat por medio de la sobreposición de las capas de hábitat potencial (modelo derivado de MaxEnt), hábitat actual (reclasificación de la cobertura en rangos de aptitud para cada periodo de tiempo) y de las variables valoradas por los expertos. Los resultados se dividieron en cuartiles, los dos intervalos inferiores se clasificaron como hábitat deficiente, el intermedio como subóptimo y el intervalo superior como hábitat óptimo. Los parches de hábitat óptimo se utilizaron en el análisis morfológico de los patrones espaciales y los parches con áreas mayores al tamaño mínimo de hábitat fueron corroborados en campo y utilizados finalmente como insumo para el modelamiento final de la conectividad.

Se obtuvieron los mapas de resistencia acumulada para cada periodo de tiempo a partir de la sobreposición entre las capas de resistencia generadas para cada variable previamente valoradas. Posteriormente, se llevó a cabo el modelamiento de la conectividad funcional. Como insumos del modelo se utilizaron los parches de hábitat óptimo y los mapas de resistencia acumulada, se obtuvieron las rutas de mínimo costo (basadas en teoría de gráficas) y los mapas de flujo de corriente (basados en teoría de circuitos) para cada periodo de tiempo. Las rutas de mínimo costo (RMC) corresponden a los corredores potenciales, los cuales se normalizaron unificando las RMC en un gradiente en el que cada pixel representa el valor mínimo de todos los corredores individuales normalizados. Por otro lado, los mapas de flujo de corriente expresan la distribución de los píxeles con alta probabilidad de movilidad entre los parches de hábitat. Posteriormente, para evaluar el estado de la conectividad del paisaje en cada periodo de tiempo se aplicaron índices integrales de conectividad. Por último, se calculó el índice de importancia de los parches para determinar cual ha sido la contribución individual de cada parche de hábitat en la conectividad general del paisaje.

Las coberturas de tipo arbóreo y arbustivo como los bosques cerrados, bosques abiertos y semiabiertos y matorrales presentaron una conectividad estructural bastante baja en contraste con las coberturas de origen antrópico como los pastizales inducidos y cultivos los cuales dominaron el paisaje a través del tiempo. En cuanto a la conectividad funcional, el índice integral de conectividad registró valores muy bajos asociados a una poca disponibilidad de hábitat para las dos especies focales. Sin embargo, el estudio de la contribución individual de los parches, dejó en claro la importancia de conservar los parches de hábitat con áreas muy grandes al encontrar una relación estricta entre el tamaño del parche y la capacidad de dispersión de las especies focales. Así mismo, la aplicación del enfoque basado en grafos y el otro en flujos de corriente resultó de gran aporte al estudio de la conectividad funcional al ser complementarios en cuanto a la identificación de corredores potenciales para la movilidad y la identificación de áreas de alta probabilidad de dispersión. En este sentido, el análisis de la conectividad del paisaje es un instrumento útil para la conservación de la biodiversidad y el manejo integrado del paisaje.

Como citar este documento:

Correa Ayrám, C. A. 2012. Análisis del cambio en la conectividad del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán como marco para la identificación de escenarios de conservación. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA). Universidad Nacional Autónoma de México. 142 pp.

ABSTRACT

The Cuitzeo lake basin is an important ecological area with a strong human pressure on forest cover, which is a key element for long term biodiversity support. Therefore, we study the landscape connectivity change as a framework for identification of potential conservation areas, in the years of 1975-1996-2000-2003 and 2008. The analysis was based on two main themes: structural connectivity and functional connectivity. Thus, structural connectivity was analyzed by applying landscape metrics based on the land cover maps of each year, previously generalized and standardized. Then, we performed a comparative analysis. In terms of functional connectivity, we modeled the two focal species potential distribution with contrasting dispersal ability and determined the habitat availability and suitability. Then, we identified the optimal habitat patches and produced the landscape cumulative resistance maps. We estimated the least cost paths (graph-based approach) and current flow maps (circuit theory approach). The least cost paths correspond to the potential corridors unified in a gradient; each pixel represents the minimum value of all normalized individual paths. The current flow maps represent the patches distribution with high probability of inter-patch mobility. For the landscape connectivity evaluation, we applied an integral index of connectivity (*IIC*) in each study period, and we determined the individual habitat patch contribution (*dIIC*) in the overall landscape connectivity. The forest land cover as a closed forest, semi closed forest and scrublands presented a low structural connectivity values in contrast to the human land cover as an induced grasslands and crops, which dominated the landscape over time. In terms of functional connectivity, the *IIC* index reported very low values associated with reduced focal species habitat availability. However, the individual habitat patch contribution study showed the conservation importance of very large areas of optimal habitat patch. The application of graph-based approach and current flow mapping were very useful and complementary in terms of the potential corridor for mobility estimation and the identification of high probability dispersion areas. Therefore, the landscape connectivity analysis provides a useful tool for identification of potential conservation areas and landscape planning.