

## Cambios de uso del suelo y vegetación (1970-2005) en la cuenca del río Eslava, Distrito Federal, México.

**Roldán-Aragón, IE\* y Sevilla-Salcedo, Y.**

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calzada del Hueso No. 1100, Col. Villa Quietud, México, 04960, D.F. Del. Coyoacán. Tel. (55) 5483-7000, ext. 3291. Fax. (55) 5483-7469.

\*Email: [ieroldan@correo.xoc.uam.mx](mailto:ieroldan@correo.xoc.uam.mx); [ieroldan@gmail.com](mailto:ieroldan@gmail.com)

### RESUMEN

La cuenca del Río Eslava es parte del Suelo de Conservación de la Ciudad de México, ubicada en el suroeste de la entidad. Es un área que participa en el secuestro de Carbono y en la recarga del acuífero local, además, es fuente de empleos a través de actividades ecoturísticas y por el aprovechamiento agrícola. Sin embargo, como parte de la dinámica de crecimiento de la Ciudad se han producido cambios en las coberturas del suelo, fenómeno que pone en riesgo los servicios ecosistémicos que ofrece a la sociedad. Entender los cambios espacio-temporales de los usos del suelo y vegetación (USyV) es un paso fundamental para establecer el manejo adecuado del área. Bajo este contexto, el presente artículo planteó valorar dichos cambios en la Cuenca durante un período de 35 años (1970-2005). Esto se realizó en un SIG mediante el cruce de mapas y el análisis de la matriz de cambio, con lo que se obtuvieron distintos valores de transición (pérdidas y ganancias, cambio neto y absoluto, persistencia, tasas y dirección de cambio) entre las cinco clases consideradas. Los resultados muestran un valor de persistencia de las clases de USyV en la cuenca de 77.5 % (clases antrópicas 43 % y naturales 93 %), con tasas anuales de cambio negativas para Matorral-encino (-100%) y Agricultura de temporal (-1.68%) y positivas para Áreas urbanas (5.96%), Pastizal inducido (2.92%) y Bosque (0.03%). Las direcciones de cambio de mayor magnitud se presentaron de Agricultura de temporal y Matorral-encino hacia Área Urbana y de Bosque hacia Áreas agrícolas y Pastizal inducido. La aptitud de infiltración de agua en el suelo y el almacenamiento de Carbono en la biomasa aérea de la vegetación se han visto disminuidas por las conversiones de USyV producidas durante el periodo de tiempo considerado.

**Palabras clave:** Ciudad de México, transición uso del suelo y vegetación, crecimiento urbano, bosque, servicios ecosistémicos.

### INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México es considerada una de las principales megalópolis del planeta, junto con Tokyo y Sao Paulo, que no están exentas de una serie de problemas ambientales característicos de las urbes, generados por la aglomeración poblacional y el consumo de recursos naturales que se ven deteriorados, debilitando la habitabilidad de un espacio urbano adecuado para sus pobladores (Perló, 1999. Citado por Escobar y Jimenez, 2009). Entre los principales problemas ambientales de la Ciudad de México se encuentran la contaminación atmosférica, la acumulación de desechos domésticos, la escases y deterioro de áreas verdes para esparcimiento de los ciudadanos, el agotamiento del acuífero local y la pérdida drástica de coberturas naturales (forestales) en el suelo de conservación ( $\approx$  8591 ha para el periodo 1997-2005), entre otros (INEGI 2005; PAOT y CentroGeo 2010).

Estas problemáticas a mediano plazo se verán acentuadas en la Ciudad de México, fenómeno que como suele pensarse, es causado por el incremento en el número de habitantes, sin embargo, el crecimiento poblacional en las próximas décadas será poco significativo puesto que se estima sea menor a 400,000 habitantes, al pasar de 8.85 millones que se censaron en el año 2010 (INEGI

2013) a 9.25 millones para 2025 según un escenario programático (GDF 2003). Los impactos sobre áreas naturales claves serán esencialmente generados por los patrones de movilidad interna de la población, es decir, debido a la tendencia observada en la disminución de la densidad de las delegaciones políticas centrales (Fig. 1) y a la densificación en mayor o menor grado de las delegaciones ubicadas hacia la periferia (Suarez y Delgado 2007). Estas proyecciones se basan en las tasas de crecimiento poblacional negativas (-1.47) y positivas (0.3 a 2.4) de las delegaciones centrales y periféricas, respectivamente (Schteingart 2006), delegaciones políticas estas últimas en las que se encuentra la mayor superficie de áreas que aún conservan comunidades forestales y en las que se llevan a cabo todavía actividades agropecuarias (GDF 2012). Gran parte de estas áreas han sido decretadas como Suelo de Conservación del Distrito Federal (SCDF), principalmente aquellas ubicadas al sureste, sur y suroeste de la Capital, dado que participan de forma importante en la generación de servicios ecosistémicos.

Particularmente, la cuenca del Río Eslava ubicada gran parte de ella en el SCDF, es considerada un área de fragilidad ecológica (propiedad del sistema para resistir una actividad) media (5.6) debido a la fragilidad de la vegetación, al grado de erosión total que presenta y a la vulnerabilidad del acuífero, también, es una zona prioritaria con nivel de importancia alto y muy alto, puesto que en ella fluye uno de los dos ríos que aún se conservan en la Capital. Presenta una aptitud media de infiltración de agua (23.4 mm/día), un almacenamiento promedio de carbono en biomasa aérea de 69.65 Ton ha<sup>-1</sup> y una alta aptitud para el ecoturismo por sus ecosistemas y paisajes atractivos (GDF 2012). De igual forma, ofrece un hábitats que alberga aproximadamente 165 especies de flora (Roldán-Aragón et al. 2011) y 178 especies de reptiles, anfibios, mamíferos y aves (Peña y Lira 2008).

Un proceso que ha afectado la zona es el crecimiento urbano, con la consecuente conversión de las comunidades vegetales naturales a otras coberturas del suelo. Ejemplo de ello son los casos publicados por Schteingart (2006) para el periodo 1971-1997 en zonas que parcialmente están

contenidas en la cuenca del Río Eslava (el área del Ajusco y el ejido de San Nicolás Totolapan), obteniendo que, para el periodo de estudio se observó una disminución entre 9.5 % y 15 % de la superficie en las comunidades naturales y un aumento entre 20 % y 25 % de la zona urbana y pastizales inducidos.

La conservación de las comunidades bióticas en esta zona es fundamental para la población local, por ser una fuente de ingreso a través del uso del bosque (ecoturismo) y el desarrollo de actividades agropecuarias y, para los habitantes de la Ciudad de México, por ser la fuente de servicios ecosistémicos imprescindibles para el mantenimiento de la vida y dinámica urbana. Bajo este contexto y como parte del “Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava 2007 – 2008” (Eibenschutz 2008), se llevó a cabo el presente trabajo, con los objetivos de estimar los valores de transición (pérdidas y ganancias, cambio neto y absoluto, persistencia, tasas y dirección de cambio) de los usos del suelo y vegetación en la cuenca del Río Eslava. Entender las fuerzas y dinámica que los conducen es de vital importancia para comprender, modelar y predecir el cambio del ambiente a nivel local y regional, así como para establecer las acciones y el manejo adecuado del área (Meyer y Turner II 1994).

### *Área de estudio*

La Cuenca del Río Eslava se ubica en el suroeste del Distrito Federal, entre los 19° 15' 10" y 19° 17' 30" de latitud norte y los 99° 15' 18" y 99° 16' 40" de longitud oeste. Ocupa 2402 ha, de las cuales 85 % se ubican en la delegación política Magdalena Contreras y el resto en la delegación política de Tlalpán. De la superficie total de la Cuenca aproximadamente 98 % (2217.06 has) se encuentra en el SCDF (Fig. 1).

Fisiográficamente pertenece a la sierra del Ajusco, caracterizada por un relieve ondulado y materiales de origen volcánico. En las partes bajas de la Cuenca entre 2600 y 2900 msnm se encuentran algunos pequeños valles dedicados a actividades agrícolas y, de 2900 a 3700 msnm se halla el área montañosa, que forma una serie de cañadas con dirección suroeste – noreste. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano.

Presenta un gradiente de precipitación que va de 700 mm anuales en la zona baja a 1174 mm en las partes altas. La temperatura media anual reportada es de 11.4° C, la máxima (13.5° C) se presenta en el mes de mayo y la mínima (9.1° C) en enero (GDF, 2004).

Los suelos de la zona son de origen volcánico, desarrollados a partir de rocas ígneas como andesitas, dacitas y tobas. Esta composición litológica y la edad de los materiales junto con otros factores han desarrollado un suelo de baja adhesividad y cohesividad y alto contenido de materia orgánica, características que los hacen susceptibles a procesos erosivos. Se reporta suelo Andosol, Phaeozem y Leptosol (Vela et al. 2008).

La vegetación presente consiste en bosques de coníferas y latifoliadas como bosque de *Abies religiosa*, bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Pinus teocote* – *P. montezumae*, bosque de *Quercus rugosa* – *Q. laurina* y bosque mixto de *Pinus* spp. – *Quercus* spp. Estas comunidades ocupan aproximadamente 70 % de la cuenca, el resto es ocupado por pastizales inducidos, áreas agrícolas y por la zona urbana. Los principales impactos sobre la vegetación provienen del avance de la zona urbana en las partes bajas y, en menor magnitud, por tala, incendios y pastoreo en las zonas medias y altas (Roldán-Aragón et al. 2011).

## MATERIAL Y METODOS

Para cubrir el objetivo planteado se utilizó una leyenda general de cinco clases de uso del suelo y vegetación (Tabla 1). El número de clases utilizado se debió a las discrepancias en la escala y leyenda de las fuentes de información disponibles. En el caso del plano de 1970 se inició con la identificación de las clases presentes en las cartas de uso del suelo y vegetación publicadas por INEGI (1970a y 1970b) a escala 1:50,000, que sirvieron de base para la interpretación visual de fotografías aéreas blanco y negro (escala 1:40,000) del mismo año, permitiendo así, definir con mayor detalle las cinco clases consideradas (Tabla 1). El plano de 2005 se obtuvo a partir de la agregación de clases (Tabla 1) del mapa de vegetación y uso del suelo de la Cuenca del Río Eslava elaborado por Roldán-Aragón et al. (2011), el cual fue generado con base en la interpretación visual (Chuvieco 2005) de composiciones a color de una imagen multiespectral Quick-Bird del año 2005. Dadas las características de resolución espacial de ambas fuentes de información y, de tal forma de compatibilizar la información del tiempo 1 ( $T_1 = 1970$ ) y tiempo 2 ( $T_2 = 2005$ ), fue necesario aplicar un proceso de generalización a ambos planos, mediante la incorporación de regiones homogéneas pequeñas a regiones homogéneas vecinas más grandes de acuerdo al umbral de  $\leq 2500 \text{ m}^2$  (Eastman 2012).

Para el análisis de los cambios de uso del suelo y vegetación se construyó una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio, generada a partir del cruce de los planos del  $T_1$  y  $T_2$ , proceso que fue desarrollado en el software IDRISI v17 (Eastman 2012). De esta tabla se obtuvo: a) la superficie ocupada de cada clase en las fechas de interés, que para el  $T_1$  fue la suma de las celdas de cada fila y para el  $T_2$  la suma de las celdas de cada columna; b) la persistencia de cada clase, representada por la diagonal principal de la tabla, es decir, corresponde a la superficie de cada clase que no presentó cambios; c) ganancias (G), que es la diferencia de la superficie total del  $T_2$  (2005) de la clase de interés menos su persistencia; d) pérdidas (P), que corresponden a la diferencia de la superficie total del  $T_1$  (1970) de la clase de interés menos su persistencia; e) cambio neto (CN), representado por

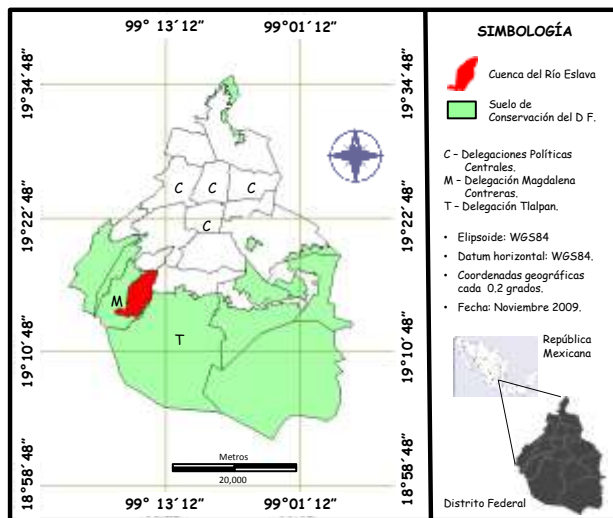


Fig. 1. Localización de la Cuenca del Río Eslava en el Distrito Federal.

la diferencia de superficies entre el total del  $T_2$  y el total del  $T_1$ , dado en valores absolutos para la clase de interés ( $CN = |T_2 - T_1|$ ) y; f) cambio total (CT), que es la suma de las ganancias y pérdidas de la clase en cuestión (López y Plata 2009; Eastman 2012). La tasa de cambio anual para las distintas clases fue estimada con base en la siguiente fórmula (FAO, 1996):

$$t = \left( 1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

- t = tasa de cambio anual;
- $S_1$  = superficie de la cobertura en el tiempo 1;
- $S_2$  = superficie de la cobertura para el tiempo 2;
- n = número de años entre las dos fechas.

Finalmente, para establecer la relación entre la inclinación del terreno y la distancia a localidades con las áreas persistentes y de cambio, y observar la afectación a los servicios ecosistémicos (aptitud de infiltración y Carbono almacenado en biomasa aérea) en la Cuenca, se utilizaron los planos digitales del Atlas Geográfico del SCDF (GDF 2012), los cuales fueron compatibilizados cartográficamente para extraer la información requerida, proceso que fue desarrollado en el software IDRISI Selva v.17 (Eastman 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

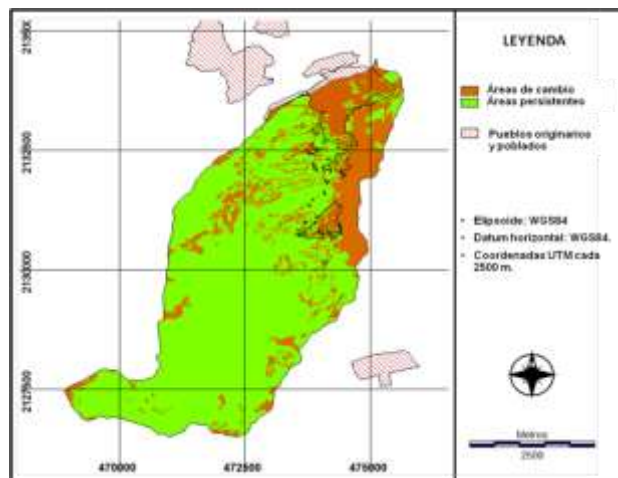
La cuenca del Río Eslava se encuentra inmersa en la dinámica de crecimiento y cambio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), constituida esta última por el Distrito Federal y por

**Tabla 1.** Leyenda de uso del suelo y vegetación utilizada en el presente trabajo y clases correspondientes a los planos de 1970 ( $T_1$ ) y 2005 ( $T_2$ ).

USyV	USyV (INEGI 1970).	USyV (Roldán-Aragón <i>et al.</i> , 2011)
Área urbana.	Zona urbana.	Área urbana.
Agricultura de temporal.	Agricultura de temporal permanente. Agricultura de temporal anual. Agricultura de temporal anual – pastizal inducido	Agricultura de temporal.
Pastizal inducido.	Pastizal inducido.	Pastizal inducido.
Matorral - encino	Matorral inerme con bosque natural de encino. Matorral inerme secundario - bosque natural de encino y pino.	Matorral de <i>Senecio praecox</i> – <i>Quercus</i> spp.
Bosque.	Bosque natural de oyamel. Bosque natural de oyamel – pino. Bosque natural de pino – encino, Bosque natural de encino.	Bosque de <i>Abies religiosa</i> . Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> . Bosque de <i>Pinus teocote</i> – <i>P. montezumae</i> . Bosque de <i>Quercus rugosa</i> – <i>Q. laurina</i> . Bosque de <i>Pinus</i> spp. – <i>Quercus</i> spp.

algunos municipios del Estado de México. A pesar de que en su conjunto las tasas de crecimiento poblacional han disminuido, la superficie de ocupación sigue en aumento, mostrando el crecimiento más importante en municipios conurbados al sureste (Chalco, Valle de Chalco, Chalco Solidaridad e Ixtapaluca) y norte (Cuautitlán y Ecatepec) y expulsando población de las delegaciones centrales del D.F. hacia las periféricas, ocupando principalmente las ubicadas al sur de la capital (López y Plata 2009; Schteingart 2006).

En el contexto de esta dinámica, la cuenca del Río Eslava ha mostrado cambios en su uso del suelo y vegetación en 22.5 % de su superficie, es decir, que 540.7 has (áreas de cambio) han intercambiado superficie entre las distintas clases de uso del suelo y vegetación durante un periodo de 35 años, principalmente en la parte sur y media de la Cuenca y, 1861.3 has (77.5 %), han permanecido (áreas persistentes) en la clase a la que pertenecían al inicio del periodo de tiempo (1970 – 2005) considerado (Fig. 2).



**Fig. 2.** Áreas de cambio y persistentes en la cuenca del Río Eslava entre 1970 y 2005.

Velázquez et al. (2002) a nivel nacional para un periodo de 24 años (1976 – 2000) obtienen una persistencia de 80.6 %, López y Plata (2009) para la ZMCM considerando 10 años (1990-2000) estiman

una persistencia de 92.4 % y Pineda et al. (2008) para el estado de México de 1993 a 2002 un valor de 93.3 %, cifras que en comparación con las obtenidas para la cuenca del Río Eslava muestran que su paisaje ha presentado modificaciones más acentuadas en las clases de uso del suelo y vegetación presentes en el año de 1970.

Por otra parte, si se considera la persistencia de las coberturas de origen antrópico (Área urbana, Agricultura de temporal y Pastizal inducido) y las “naturales” (Matorral-encino y Bosque) por separado, se tienen estimaciones de 48 % y 93 %, respectivamente, valores que de forma general nos indican que los cambios importantes en el paisaje han sido resultado de los intercambios relativos (ganancias y pérdidas) entre las coberturas antrópicas principalmente y, en menor magnitud con las clases “naturales”. En este último sentido, la persistencia de las coberturas “naturales” obtenida para la cuenca del Río Eslava fue superior a la estimada por Velázquez et al. (2002) para la República Mexicana (82.6 %) y de la ZMCM (87%) calculada por López y Plata (2009) para los periodos 1976-2000 y 1990-2000, respectivamente.

Suárez y Delgado (2007), mencionan que la probabilidad de cambio debida a la urbanización del territorio, depende de un conjunto de variables físicas como la inclinación del terreno y la distancia a la localidad más cercana, entre otras variables socioeconómicas agregadas a nivel de delegación política y municipio, pauta que es congruente con el patrón de cambio de la cuenca del Río Eslava, puesto que las áreas de cambio y persistentes presentan diferencias estadísticamente significativas en la inclinación del terreno ( $Z=-809.4$ ,  $p<0.05$ ) y distancia a localidades ( $Z=-1065$ ,  $p<0.05$ ), con valores promedio más altos para la inclinación y distancias a las localidades para las zonas persistentes (Fig. 2).

Con base en el análisis de cada uno de los USyV, se tiene que el Área urbana fue la clase que presentó la tasa anual de cambio positiva (5.96 %) más alta, al pasar de 45.1 has que ocupaba en 1970 (1.8 % de la superficie total de la Cuenca) a 341.7 has en 2005 (14.2 % del área total de la Cuenca), representando esto, un cambio total de 298.9 has (Tabla 2 y Fig. 3).

La tasa calculada para la cuenca del Río Eslava es superior entonces a la estimada con datos citados por López y Plata (2009) para el Distrito Federal que fue de 1.2 % año<sup>-1</sup> entre el año 1970 y 2000, y del valor de 3.3 % año<sup>-1</sup> obtenido para el Sur del Distrito Federal entre 1973 y 2000 (Sorani 2003), sin embargo, es bastante menor a la tasa estimada con datos de Schteingart (2006) y Romero (2008) para el ejido de San Nicolás Totolapan, que tuvo un valor de 12.8 % año<sup>-1</sup> para el periodo de 1971 a 2005.

Entre los usos del suelo de origen antrópico, la clase Pastizal inducido fue la que mostró la segunda tasa de crecimiento positiva más importante después de Área urbana, con un valor de 2.9 % año<sup>-1</sup>. Para 1970 ocupaba poco más de 25 has e incrementó a 69.7 para el año 2005, sin embargo, mostró una persistencia de tan solo 12.5 % y un cambio total de 88 has, considerándola por esto una de las clases con mayor dinámica de intercambio (Tabla 2 y Fig. 3). A nivel nacional considerando de 1976 al año 2000 Velázquez et al. (2002) estiman una tasa para los pastizales inducidos de 1.72 % año<sup>-1</sup> y para el D.F. de 1.19 % año<sup>-1</sup> entre 1996 y 2000 (INEGI, 2005). Schteingart (2006) obtuvo para el periodo de 1971 a 1997 en el Ajusco y el ejido de San Nicolás Totolápan un incremento de la superficie de los pastizales inducidos de entre 2 y 3 puntos porcentuales, lo que es cercano al incremento observado de 1.8 % en la superficie de esta clase para la cuenca del Río Eslava.

La Agricultura de temporal a diferencia de las dos clases antrópicas antes consideradas, presentó una tasa anual negativa de -1.68 % y un cambio neto de -224 has, al pasar de 502 has en 1970 a 277 has en el 2005. La persistencia obtenida para la clase fue de 45 % y el cambio total fue de 323 has, lo que la ubica como la clase que mostró la mayor superficie de intercambio entre todas las clases consideradas, tanto antrópicas como “naturales” (Tabla 2 y Fig. 3). Con datos de López y Plata (2009) se obtiene una tasa negativa de -0.19 %/año para la agricultura de temporal en la ZMCM en un periodo de 10 años (1990-2000) y para el D.F. una tasa positiva de apenas 0.083% año<sup>-1</sup> entre 1996 y 2000. En una escala local, Schteingart (2006) confirma la pérdida de 5 % de las áreas agrícolas en el Ajusco para el periodo 1971-1997, sin embargo

también reporta, el incremento de las áreas agrícolas para el Ejido de San Nicolás Totolapan en un 3.8 % de su superficie para el periodo mencionado y Romero (2008) para un lapso de tiempo mayor (1971-2005) el aumento de la superficie agrícola (5.1 %) en este ejido.

La clase con mayor pérdida durante el periodo considerado fue Matorral-encino, que mostró una tasa de pérdida calculada de -100 %/año, indicando con esto la desaparición total de las 136.2 has que ocupaba en 1970 (Tabla 2 y Fig. 3). La tendencia a la disminución del área de Matorral-encino de la cuenca del Río Eslava concuerda de igual forma con los datos reportados por Schteingart (2006) para el Ajusco, al pasar de 14 % ocupado por esta clase en 1971 a 8 % en 1997. Para la Zona sur del D.F. utilizando los datos publicados por Sorani (2003), se calculó la pérdida del matorral (malpaís) de 1973 al 2000, resultando una pérdida anual de -2.36 %. Las diferencias en las tasas mostradas obedecen principalmente a que en la cuenca del Río Eslava se ubica el límite de distribución de esta comunidad vegetal, produciendo así, la desaparición total de la cobertura entre los límites de la zona considerada en este trabajo (Fig. 3).

Finalmente, el análisis de la Tabla 2, muestra que la clase que ocupó la mayor superficie tanto en 1970 (1694.1 has) como en el año 2005 (1713.5 has) fue Bosque, con un ligero incremento en el número de hectáreas hacia el final del periodo, resultando así una tasa anual positiva de 0.03 % y una persistencia de 93.6 %, lo que corresponde a una superficie de 1586.6 has, equivalentes a 66 % del área total de la Cuenca. Si solo se toma en cuenta el cambio neto (19.5 has) entre 1970 y 2005 se pensaría en la cuasi invariabilidad de la clase Bosque, sin embargo, si se suman en términos absolutos los valores de ganancias y pérdidas, denotan que a nivel espacial se ha presentado un cambio total de 234.3 has, ubicando a esta clase en el tercer lugar en su dinámica de intercambio respecto a otras clases en la Cuenca. De este cambio total, 126 has corresponden a las ganancias durante el periodo considerado, lo que implica la presencia, al menos en estas áreas que corresponden al 5 % de la superficie de la Cuenca, de diferentes estados sucesionales en la comunidad forestal.

Tabla 2. Valores de transición del río Eslava entre los años 1970-2005.

LUaV	Superficie 1970 (has)	Superficie 2005 (has)	Tasa de intercambio (%/año)	Persistencia 1970 has (%)	Ganancias (has)	Pérdidas (has)	Cambio neto (has)	Cambio total (has)
Agricultura estacional	501.2	277.1	-1.68	227.5(45.3)	49.6	273.7	-224.1	323.3
Pastizal inducido	25.5	69.7	2.92	3.2(12.5)	66.5	22.3	44.2	88.8
Bosque	1694.1	1713.5	0.03	1586.6(93.6)	126.9	107.4	19.5	234.3
Área urbana	45.1	341.7	5.96	44.0(97.5)	297.7	1.2	296.5	298.9
Roble-Shrubland	136.2	0.0	-100.00	0.0(0.0)	0.0	136.2	-136.2	136.2

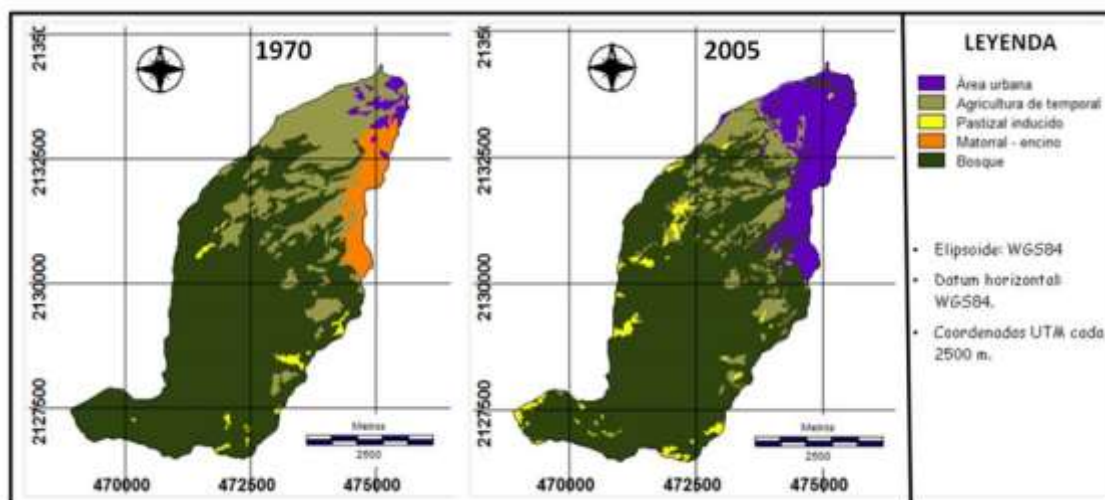


Fig. 3. Vegetación y uso del suelo en la cuenca del Río Eslava para 1970 y 2005.

Para bosques templados a nivel nacional entre 1976 y 2000 Velázquez et al. (2002) calcularon una tasa de cambio de -0.25 %/año, en cambio a nivel regional, para la ZMCM con datos de López y Plata (2009) que consideran bosques de pino, encino y oyamel se tiene una tasa positiva de 0.051 %/año entre el año 1990 y 2000, en cambio, con datos para bosques en el D.F. (INEGI, 2005) se obtuvo pérdidas anuales de -0.98 % para un periodo de 6 años (1994-2000) y con Sorani (2008) para la Zona Sur del D.F. una pérdida anual de -1.13 % entre 1973 y el año 2000. La tendencia a nivel Nacional y Regional es hacia la pérdida de coberturas forestales y, de igual forma a nivel local, puesto que Romero (2008) estima una pérdida de 420 has de bosque de 1971 a 2005 para el ejido de San Nicolás Totolapan

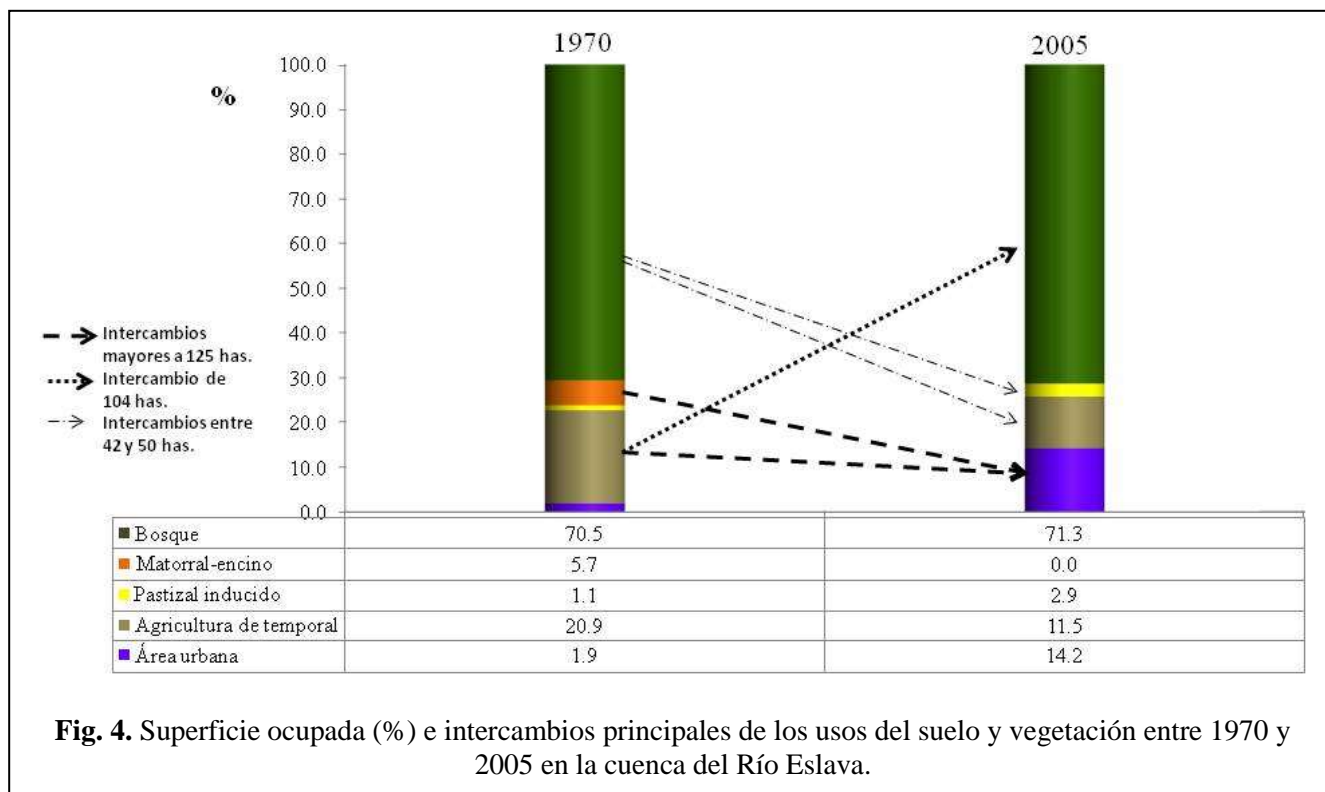
al pasar de 1830.3 has a 1713.5, calculando con esto una tasa de -0.8 %/año.

En la dinámica de intercambio de las distintas clases de USyV destacan cinco direcciones por perder o ganar una superficie mayor a 40 has. Las pérdidas de mayor magnitud proceden de la clase Agricultura de temporal puesto que cede 152 has al Área Urbana y 104 has al Bosque, sumando un total de 256 has. En segundo orden de importancia se encuentra la clase Matorral-encino que presenta una dirección de cambio hacia el Área Urbana de 129.7 has y, finalmente, el Bosque que pierde 91 has, de las cuales 49 has pasan a ser Pastizal inducido y 42 has Agricultura de temporal (Fig. 4). La clase que en el año 2005 gana o recibe la mayor superficie es el Área Urbana (297.7 has), con la particularidad que el Matorral-encino cede toda su superficie

(129.7 has) a esta clase, la agricultura contribuye con 153 has y el Bosque con 15.2 has. Los patrones de dirección de cambio para las coberturas presentes en o cercanas a zonas urbanas comúnmente muestran una conversión de las áreas agrícolas y de las comunidades forestales hacia áreas urbanas, como ha sido expuesto por Sorani (2003) y López y Plata (2009). De igual forma, esta dirección de cambio es documentada para diferentes áreas del

196 L día<sup>-1</sup> (Izazola s/año). Por otra parte, en cuanto al almacenamiento de carbón en la biomasa aérea de la vegetación se tiene que 297.7 has pierden esta característica al pasar a ser Área urbana, lo que se convierte en la disminución del 4% (6039 Tc ha<sup>-1</sup>) del Carbono almacenado en la Cuenca (GDF 2012; Santiago et al. s/año).

## CONCLUSIONES



D.F., en las que las zonas agrícolas fueron urbanizadas durante la segunda mitad del siglo XX. En cuanto a la afectación de los servicios ecosistémicos producidos por el aumento del Área urbana, se tiene la pérdida de aptitud de infiltración de agua en 129.7 has (pérdida de la superficie del Matorral-encino), lo que corresponde a la disminución potencial de 3035 m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup> para la superficie mencionada (con base en un valor de infiltración promedio para la cuenca del Río Eslava de 2.34 mm día<sup>-1</sup> - 2.34 L m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> (GDF 2012), lo que implicaría dejar de “abastecer” a 15,485 personas diariamente bajo una *dotación confort* de

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran la conversión de USyV para la cuenca del Río Eslava (1970-2005). Se concluye que poco menos de una cuarta parte del área ha sufrido algún cambio, mostrando el incremento de Áreas urbanas y Pastizales inducidos a costa de clases como el Matorral-encino, Áreas agrícolas y Bosque. A pesar de ello, se conserva la cobertura dominante (Bosque) en la Cuenca, la cual muestra un valor de persistencia alto.

Particularmente, las direcciones de cambio se presentan como dos vectores distintos, uno con cambio de clases naturales a antrópicas (Bosque a Agricultura de temporal y Pastizales inducidos), y



otro, entre clases antrópicas (de Agricultura de temporal a Área urbana), mostrando este último vector la mayor magnitud.

Las variables físicas para las que se observa una relación con los cambios de USyV son la inclinación del terreno y la distancia a localidades, sin embargo, es necesario profundizar en variables socioeconómicas para entender de mejor forma las dinámicas de cambio en la zona.

Hasta el momento la cuenca como unidad hidrográfica ha perdido parte de la capacidad de ofrecer servicios ecosistémicos, principalmente de los derivados de las comunidades naturales como el secuestro de carbono por parte de la vegetación y la aptitud de infiltración de agua en el suelo en distintas zonas de recarga.

El crecimiento urbano como parte de la dinámica de la ZMCM es la principal fuerza de cambio para la cuenca del Río Eslava y para el SCDF en el que se encuentra, por lo que es necesario apoyar la producción agrícola debido a su dinámica de intercambio, de tal forma que su conversión a área urbana se detenga, así como, el apoyo a las actividades eco turísticas que ya realizan los pobladores de la zona y a programas de pago por servicios ambientales, como una forma de agregar valor al suelo y desestimular las conversiones a otros usos del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E. 2005. Fundamentos de Teledetección Espacial. (3ra. ed.), Rialp, S.A., Madrid, España.
- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva v (17.0). Clark University. USA.
- Eibenschutz, H. R (coord.). 2008. Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava 2007 – 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Xochimilco. 570 pp.
- Escobar, D.J.L. y Jiménez, R. J.S. 2009. Urbanismo y sustentabilidad: estado actual del desarrollo urbano de la ZMVM. Revista Digital Universitaria. Vol. 10(7). DGSCA-UNAM. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art40/art40.htm>
- FAO. 1996. "Forest Resources Assessment 1990". Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes. No. 30, Rome, Italia. 152 p.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2004. Plan rector de producción y conservación de la microcuenca río eslava, delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpán, D.F. Gobierno del Distrito Federal. México, D.F. 82 pp.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2003. Decreto por el que se aprueba el programa general de desarrollo urbano del Distrito federal. Gaceta oficial del Distrito Federal. México D.F. diciembre 31 2003.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2012. Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. México, D.F. 96 pp.
- INEGI. 1977<sup>a</sup>. Carta Uso del Suelo (E14-A39, 1:50,000). Aguascalientes, México.
- INEGI. 1977<sup>b</sup>. Carta Uso del Suelo (E14-A49, 1:50,000). Aguascalientes, México.
- INEGI. 2005. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito federal y Zona Metropolitana 2002. México, D.F. Disponible en: [http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/medioambdf/2002/archivo1.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/medioambdf/2002/archivo1.pdf)
- INEGI, 2013. Censo de Población y Vivienda 2010. México, D.F. Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>
- Izazola, H. s/año. Water and sustainability in Mexico City. WATER AND DEVELOPMENT Vol II. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Disponible en: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C07/E2-24M-04-03.pdf>.
- López, V. H. y Plata, R. W. 2009. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990 – 2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Num. 68, 85 – 101.
- Meyer, W. B. y Turner II, B. L. 1994. Global land use and land-cover change: report of working group A. En: Meyer, W. B. y B. L. Turner II (eds.) 1994. Changes in land use and land cover: a global perspective. Cambridge University Press.
- PAOT y CentroGeo. 2010. Modelo de análisis tendencial sobre la pérdida de cubierta forestal en el suelo de conservación del Distrito Federal. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. México. Disponible en:

- <http://paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf/EOT-15-2010.pdf>.
- Peña, R. J. L. y Lira, M. M. E. 2008. Medio biofísico. Biodiversidad – Fauna. En Eibenschutz, H. R (coord.) Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava 2007 – 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Xochimilco. México, D.F. Pp. 119 – 134.
- Pineda, J. N. B., Bosque, S. J., Gómez, D. M. y Plata, R. W. 2009. Análisis de cambio del uso el suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 69: 33-52.
- Roldán-Aragón, I. E., Chimal-Hernández, A., Sevilla-Salcedo, Y., Lira-Malquivar, M. E. y Hernández-Díaz, C. 2011. Vegetación de la cuenca del río Eslava, Suroeste de la Ciudad de México. e-Bios. V. 1 (1). 33 – 42.
- Romero, V. E. M. 2008. Pérdida del suelo de conservación por asentamientos humanos irregulares en el ejido San Nicolás Totolapan, Delegación La Magdalena Contreras. Distrito Federal. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. IPN. México. 97 p.
- Schteingart, M. 2006. Migraciones, expansión urbana e impacto ambiental en la región metropolitana de la Ciudad de México. II Simposio Internacional. Desertificación y Migraciones. 25 – 27 de octubre. Universidad de Almería, España.
- Sorani, V. 2003. Sur del Distrito Federal. En: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 24 Regiones Proders. La Deforestación. México, D.F. 190-207.
- Suarez, M. y Delgado, J. 2007. La expansión urbana probable de la Ciudad de México. U escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020. Estudios Demográficos y Urbanos. 22(1): 101-142.
- Vela, G., Gamiño, L. y López, J. 2008. Medio biofísico: suelos. En “Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava 2007 – 2008”. 66 – 94 pp. México, D.F. Gobierno del Distrito Federal y Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Xochimilco.
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J.L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica. 62: 21-37.