



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN URBANISMO

**URBANIZACIÓN PERIFÉRICA Y SU EFECTO AMBIENTAL. EL CASO DE
LAS BARRANCAS DE CUAJIMALPA, CIUDAD DE MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTOR EN URBANISMO

PRESENTA:

CARLOS TOPETE POZAS

TUTOR PRINCIPAL:

DR. JAN BAZANT SÁNCHEZ UAM- XOCHOMILCO

MIEMBROS DEL COMITE TUTOR:

**DR. JOSÉ ALEJANDRO VELÁZQUEZ MONTES CENTRO DE INVESTIGACIONES EN
GEOGRAFÍA AMBIENTAL. CIGA-UNAM. MORELIA,
MICHOACÁN**

DRA. SILKE CRAM HEYDRICH INSTITUTO DE GEOGRAFÍA. UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JAN BAZANT SÁNCHEZ. UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA. UAM-
XOCHIMILCO.

COMITÉ TUTORAL:

DR. JOSÉ ALEJANDRO VELÁZQUEZ MONTES. CENTRO DE INVESTIGACIONES EN
GEOGRAFÍA AMBIENTAL. CIGA-UNAM. MORELIA, MICHOACÁN. MÉXICO.

DRA. SILKE CRAM HEYDRICH. INSTITUTO DE GEOGRAFÍA. UNAM

LECTORES:

DRA. EPHYTCHIA DANAI BOURNAZOU MARCOU. PROGRAMA DE MAESTRIA Y
DOCTORADO EN URBANISMO. UNAM.

DR. HERMILO SALAS ESPÍNDOLA. PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
URBANISMO. UNAM.

A mis padres Rocío Pozas y Carlos Topete

A la memoria de mis abuelos Ricardo Pozas e Isabel Horcasitas

A Liliana

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo es gracias al esfuerzo realizado por diversos actores e instituciones. Quiero agradecer a los miembros del comité tutor: al director de tesis, Dr. Jan Bazant, por sus enseñanzas y tutorías sobre el proyecto, sus observaciones y comentarios llevaron a buen término esta investigación. Además, las pláticas acerca del proceso de urbanización en la CDMX me ilustraron mucho y me impulsaron a seguir el camino de la investigación sobre la ciudad y el ambiente. Al Dr. Alejandro Velázquez de quien aprendí muchas cosas relacionadas con la geografía ambiental, por su apoyo durante este proceso de aprendizaje del doctorado y por su paciencia en las tutorías recibidas durante el desarrollo de este trabajo. A la Dra. Silke Cram por su transmisión de conocimiento durante el transcurso del proyecto, sus aportaciones y comentarios ayudaron a enriquecer este trabajo. Agradezco a los tres miembros del comité tutor por su responsable participación en el proyecto. A los lectores; Dra Efytchia Bournazou y Dr. Hermilo Salas por sus valiosos comentarios los cuales ayudaron a enriquecer y mejorar el proyecto de investigación. Agradezco al Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo de la UNAM por el apoyo y las gestiones necesarias para llevar a cabo este proyecto y al CONACYT por la beca recibida la cual me permitió dedicarme de tiempo completo a esta investigación.

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DOCTORADO EN URBANISMO
UNAM**

**URBANIZACIÓN PERIFÉRICA Y SU EFECTO AMBIENTAL. EL CASO DE LAS
BARRANCAS DE CUAJIMALPA, CIUDAD DE MÉXICO.**

Carlos Topete Pozas

Índice

Urbanización periférica y su efecto ambiental. El caso de las barrancas de Cuajimalpa, Ciudad de México	4
Resumen	4
Introducción.....	5
Capítulo I.....	8
1 Planteamiento del problema	8
1.1 Objetivo general.....	13
1.2 Objetivos específicos	13
1.3 Antecedentes	14
1.4 Hipótesis	17
1.5 Marco Teórico.....	18
Capítulo II.....	30
2 Metodología de investigación	30
Capítulo III.....	39
3 Resultados	39
3.1 Delimitación zona de estudio.....	39
3.2 Características ambientales de la zona de estudio	42

3.3	Cambios de uso de suelo escala regional.....	49
3.4	Tasas de cambio. Escala regional.	55
3.5	Tendencia de cambio de uso de suelo utilizando matrices de Markov. Escala regional	55
3.6	Tendencia de crecimiento usando regresión lineal. Escala regional	56
3.7	Expansión urbana de SLA en los años 1989, 1999 y 2010.....	57
3.8	Escala de trabajo Local. Tres casos de estudio	62
3.8.1	Caso 1	63
3.8.2	Caso 2	69
3.8.3	Caso 3	77
3.9	Resultados del trabajo de Campo.....	85
3.10	Análisis comparativo entre casos. Escala local.	103
3.11	Tendencia de cambio en el área sellada y pérdida de recarga del acuífero. Escala regional.	108
3.12	Cruce de variables a escala local. Poblacion Vs Residuos sólidos y líquidos. Tendencia de cambio en el área sellada y la recarga del acuífero. Estudios de caso.....	109
3.13	Análisis multivariado	126
3.14	Análisis de fragmentación escala Regional 1:25,000.	131
3.14.1	Fragmentación año 1989	131
3.14.2	Fragmentación año 1999	133
3.14.3	Fragmentación 2010	134
3.15	Análisis de Fragmentacion. Escala estudios de caso	136
Capítulo IV	142
4	Comprobación de hipótesis	142

4.1	Parámetros de impacto ambiental de acuerdo a la densidad de población en la periferia urbana de Cuajimalpa CDMX.....	144
4.2	Discusión y conclusiones generales.....	145
5	Fuentes utilizadas	152
6	Bibliografía	152
7	Anexos	161
7.1	Modelo de encuesta aplicado.....	161
7.2	Cédula de observación de campo.....	163
7.3	Usos de suelo y vegetación 2010. Fuente: (PAOT 2010).....	164
7.4	Índice de Figuras.....	165
7.5	Índice de Tablas.....	169

Urbanización periférica y su efecto ambiental. El caso de las barrancas de Cuajimalpa, Ciudad de México

Resumen. Durante las últimas tres décadas, el crecimiento demográfico y la expansión física de la Ciudad de México (CDMX) sobre suelo de conservación (SC), han repercutido en la generación de problemas urbanos y ambientales para la ciudad. Cuajimalpa representa una de las delegaciones con un gran porcentaje de SC y con altas tasas de crecimiento poblacional en éstas áreas, las cuales han sido transformadas por asentamientos humanos mediante los cambios de usos del suelo y la producción de residuos. Actualmente estas zonas mantienen un importante valor ambiental para la ciudad, por lo que es esencial identificar las fuerzas que producen el cambio en la urbanización periférica y sus efectos directos e indirectos en el medio ambiente. Esta investigación aborda los efectos ambientales causados por la urbanización de la periferia de la CDMX a través del análisis de sus aspectos urbanos, sociales y ambientales durante las últimas tres décadas; utiliza una aproximación multi-escalar para identificar las diferentes dinámicas de cambio de uso de suelo a diferentes escalas territoriales y los principales efectos ambientales que genera, tomando como caso de estudio el poblado de San Lorenzo Acopilco en la delegación Cuajimalpa ubicado en SC. Este análisis derivó en parámetros de impacto ambiental en las periferias los cuales pueden significar pautas hacia una transición urbana para una planeación equilibrada entre el medio ambiente y la ciudad. El análisis mostró que el proceso de urbanización en la periferia sobre suelo de conservación trae consigo consecuencias ambientales severas para la ciudad en su conjunto, entre ellas; la producción de residuos sólidos y líquidos, el sellamiento de los suelos y el deterioro o total desaparición de ecosistemas. Así mismo, a partir de las variables de análisis, se encontraron las principales fuerzas que producen el cambio en la urbanización de la periferia, las cuales resultaron ser: la población económicamente activa por vivienda –lo que deriva en mayor ingreso y consumo–, la proximidad del transporte público y si existe un servicio de recolección de basura en la zona.

Introducción

El crecimiento urbano hacia las periferias de la Ciudad de México (CDMX) sobre el área denominada como Suelo de Conservación (SC) es, sin duda, uno de los fenómenos más importantes a analizar dentro de las investigaciones del campo del urbanismo, la geografía y el ambiente. Tanto por los efectos ambientales que genera como por las implicaciones hacia el bienestar¹ de los habitantes de las ciudades. Actualmente, existe suficiente evidencia de que las sociedades se han convertido primordialmente urbanas (Lambin et al., 2001). Más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y la mayor parte de este reciente crecimiento urbano se da en las periferias o suburbios (Rogers et al., 1999; Keil 2013). El proceso de urbanización ha sido identificado como uno de las fuerzas motoras del cambio de uso de suelo y responsable de la irreparable pérdida de servicios ambientales (Turner et al., 2004). Los drásticos cambios ambientales, generados por el acelerado ritmo de expansión urbana en las periferias, son un tema de gran interés en ciudades rodeadas con altos índices de biodiversidad, como en el caso de la CDMX (Velázquez et al., 2003; Aguilar y Ward, 2003; Inostroza et al., 2013).

La expansión demográfica y los cambios de uso de suelo que ha presentado la CDMX durante las últimas décadas constituyen uno de los más significativos a nivel global (Aguilar y Santos, 2011; CONAPO 1996; OCIM 1996; Gilbert & De Jong, 2015). Durante las últimas décadas, este crecimiento ha sido a gran escala, representando un gran riesgo para las zonas de conservación circundantes a la ciudad (Shteingart y Salazar, 2010). La falta de acceso a una vivienda en la ciudad por las mayorías urbanas de bajos ingresos, propicia, en gran medida, la expansión hacia las periferias, donde los lotes y/o la vivienda son más accesibles económicamente (Iracheta, 2015). Este fenómeno de expansión urbana disperso y fuera de toda normatividad, se va densificando con el tiempo y por consecuencia aumenta el territorio urbanizado de la CDMX en su conjunto, lo que pone en peligro importantes áreas vitales para recarga de los acuíferos y otros servicios ambientales (Bazant, 2015). Además, este crecimiento demográfico y espacial deriva en grandes cantidades de producción de residuos

¹ Se define bienestar como el conjunto de las cosas necesarias para vivir bien, también como el estado de la persona en el que se le hace sensible el buen funcionamiento de su actividad somática (RAE 2016). Algunos autores (Sandifer et al, 2015) señalan la importancia de la relación entre naturaleza, biodiversidad, servicios ecosistémicos, salud y bienestar.

sólidos y líquidos que, al carecer de una infraestructura y planeación urbana adecuada para su manejo, se convierten en graves problemas ambientales y sanitarios para la población.

La importancia del análisis de este proceso y su solución, radica, no solo por la magnitud del área urbana en crecimiento y dimensión poblacional que yace en estas áreas, sino también, por la importancia que tienen para el equilibrio ambiental y el bienestar de los habitantes de la CDMX. Además, el acelerado cambio climático trae consigo situaciones extremas de riesgo y vulnerabilidad (lluvias torrenciales, inundaciones, deslaves, sequías, etc..) que afectan primordialmente éstas áreas, las cuales carecen de una adecuada planeación y de servicios urbanos, lo que pone en riesgo a los habitantes de la ciudad.

El presente proyecto de investigación, aborda los efectos ambientales ocasionados por la expansión urbana incontrolada, tomando como caso de estudio el poblado rural de San Lorenzo Acopilco ubicado en suelo de conservación en la delegación Cuajimalpa, CDMX. En este sentido, se considera que la problemática de la expansión urbana es muy similar en toda la periferia de la CDMX, por lo que se decidió tomar un caso de estudio. El objetivo es evaluar el impacto ambiental ocasionado por la expansión urbana y generar parámetros de impacto ambiental en las periferias de la ciudad utilizando diversas técnicas y métodos de análisis a partir de información procedente de campo y otras fuentes primarias.

Esta investigación se divide en cuatro capítulos; **el Capítulo I** aborda la estructura medular del proyecto. En un primer apartado se expone el planteamiento del problema de la expansión urbana y su efecto ambiental. Posteriormente, se presentan los antecedentes existentes a la investigación, en donde se aborda el estado de la cuestión sobre investigaciones afines al estudio de las periferias urbanas y el ambiente. Después se explica el objetivo general y los objetivos particulares de la investigación; estos últimos, se dividen por variables de análisis urbano, social y ambiental. Así mismo, dentro de este capítulo, se expone la hipótesis del proyecto y, finalmente, se muestra en el marco teórico los conceptos y teorías utilizadas en esta investigación.

En el **Capítulo II** se presenta la metodología utilizada en esta investigación, en donde se explican las diferentes técnicas e instrumentos de análisis utilizados. En un primer momento se detallan las distintas fuentes de información utilizada y las diferentes escalas territoriales analizadas de la zona de estudio. Posteriormente, se desglosan las principales variables de

análisis y las fuentes de información utilizada. En un segundo momento, se explican los métodos de procesamiento de información y se describen los análisis entre variables con los cuales se llegó a la obtención de los resultados y a la comprobación de la hipótesis planteada.

El **Capítulo III** expone los resultados de los diversos análisis realizados a ambas escalas de trabajo. Por un lado, los análisis geográfico-ambientales a la escala regional; el análisis de fragmentación, las tendencias de crecimiento y la probabilidad de transición de cambios de uso de suelo. Por otro, a la escala local, el análisis estadístico multivariado con la base de datos de la información de campo, la cual implica datos categóricos y cuantitativos. Posteriormente se realizó un análisis de correspondencia sin tendencia *DCA* en inglés, el cual arrojó resultados acerca de las fuerzas que producen del cambio de uso de suelo analizando aspectos socioeconómicos y ambientales de la población encuestada en la periferia.

El **Capítulo IV** aborda las conclusiones, en donde se explica, por un lado, la comprobación de la hipótesis utilizada. Luego, se proyectan los parámetros de impacto ambiental producido por la urbanización a diferentes densidades de población ubicada en la periferia, como una contribución que puede ser utilizada para la planeación de estrategias o políticas públicas para mitigar el efecto ambiental que produce la urbanización. Finalmente, se exponen las conclusiones generales del proyecto realizado en donde se muestran las fuerzas que producen el cambio en la periferia considerando las variables de análisis utilizadas. Además, se explica en síntesis el daño ambiental producido por la urbanización de la periferia.

Capítulo I

1 Planteamiento del problema

En la CDMX, la expansión periférica y dispersa de asentamientos tiene, en gran medida, su origen en la falta de acceso de vivienda o a un lote a precios accesibles por parte de una gran proporción de población de bajos ingresos,² que indirectamente propicia el incremento de asentamientos informales en condiciones precarias, e inseguridad en la tenencia de la tierra y localización en sitios riesgosos o de valor ambiental (Aguilar y Santos, 2011). Así mismo, la expansión física de la ciudad se relaciona con el aumento permanente de las distancias entre zonas de residencia, industriales y de servicios y con los cambios de uso de suelo, que incluyen transformaciones en la movilidad metropolitana, en las densidades de población y las actividades económicas. Por otro lado, la privatización del ejido que trajo consigo la reforma al Artículo 27 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, propició durante la primera década del siglo XXI una dinámica de expansión urbana de las periferias (Olivera, 2015). En las últimas tres décadas, el crecimiento urbano en áreas periféricas de la ciudad ha sido a gran escala (CONAPO, 2010; INEGI 2010) ejerciendo una muy fuerte presión en el medio natural inmediato a la ciudad, lo que ha generado problemas muy notables en varias áreas naturales que ponen en riesgo un equilibrio sustentable de la ciudad (UNAM-SEMARNAT-INE, 2006). Este crecimiento demográfico en las delegaciones periféricas con SC está por encima del crecimiento de población de la CDMX, con tasas de crecimiento que, en algunos casos, se duplican en el periodo que va del año 2000 al 2010 (tabla 1). En suma, en dicho periodo, el incremento poblacional en SC fue 821,163 habitantes. La delegación Cuajimalpa ocupa el quinto lugar dentro de las demarcaciones de la CDMX con mayor porcentaje de SC y con el mayor número de barrancas que son parte de un importante sistema ecológico (PAOT, 2010 y 2010-2). Entre los años 1990 y 2000 ésta demarcación presentó una tasa de crecimiento demográfico medio anual de 2.2%. En el año 2000, 43.1% de la población estaba asentada en suelo de conservación y para el periodo

² De la demanda nacional vivienda (2013-2018), 1.85 millones (41.5% del total) corresponderían a familias sin acceso al crédito, las cuales propician estos asentamientos en la periferia (Iracheta, 2015).

2000-2010 presentó una tasa de crecimiento medio anual de 4.5% y 55.7% de la población estaba asentada en SC (tabla 1).

Tabla 1. Distribución de la población y tasas de crecimiento en delegaciones con SC. Fuente para los años 1990 y 2000: (Aguilar y Escamilla, 2009:37). Para el año 2010 se elaboraron cálculos propios con datos del INEGI 2010 y cartografía PAOT del SC.

Delegación	1990	2000	2010	Tasa de crecimiento 1990-2000	Tasa de crecimiento 2000-2010	1990 % ³	2000 % ³	2010 % ³
Cuajimalpa	52 018	64 560	102 226	2.2	4.5	46.4	43.1	55.7
Iztapalapa	80 257	126 077	282 626	4.4	8	5.4	7.1	15.7
Magdalena Contreras	24 334	43 382	121 397	5.6	10.2	12.5	19.6	51.1
Milpa Alta	57 288	90 728	129889	4.5	3.5	100	100	100
Álvaro Obregón	40 198	52 624	109 262	2.7	7.3	6.3	7.7	15.21
Tláhuac	66 277	100 851	176 990	4.1	5.6	32.2	33.5	49.52
Tlalpan	82 229	122 089	195 158	3.9	4.6	17.1	21.2	30.7
Xochimilco	162 487	216 884	331 279	2.9	4.2	60.6	59.5	80.7
Total SC ⁴ CDMX	565 103	817 195	1 638 358	3.6	6.9	16.4	19.6	18.51

Estos asentamientos periféricos tienen un alto grado de vulnerabilidad ante fenómenos naturales. En su construcción intervienen diversos factores, entre ellos, la disponibilidad de suelo para vivienda a bajo costo por su ubicación en condiciones de riesgo, los agentes tanto sociales como privados y los ritmos de construcción inmobiliaria (Coulomb, 2006). La expansión urbana de Cuajimalpa, como la de cualquier otra periferia de la CDMX, ha

³ Porcentaje de población distribuida en SC.

⁴ Los datos corresponden al total de las de las áreas geo estadísticas básicas (AGEB) en SC.

afectado zonas de cultivo, bosques y áreas de valor ambiental que circundan a la ciudad, ya sea por medio de su deterioro o desaparición (Schteingart y Salazar 2010). Velázquez y Romero (1999) señalan, que han desaparecido casi 30% de los bosques naturales y disminuyó a niveles críticos la población de flora y fauna silvestre en el Valle de México, además se redujo la capacidad de recarga de los acuíferos del subsuelo. Así mismo, el sellamiento de los suelos ocasionado por la urbanización deriva en problemas tales como: encharcamientos, inundaciones, y en general aspectos relacionados con la calidad de vida de los habitantes (Cram et al., 2008). Estas zonas de conservación son fundamentales para el desarrollo urbano, el control de la contaminación y el equilibrio ambiental de la ciudad (PAOT 2010-2).

Es importante mencionar que la mayor parte de los suelos que no se encuentran sellados en la CDMX están ubicados en barrancas y en Cuajimalpa 71.7% del suelo no está sellado (Cram et al., 2008). Según la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, en un estudio realizado en 2009⁵, en Cuajimalpa existen 18 laderas o barrancas con una superficie total de 970.23 ha. y dentro de éstas, existen 60 asentamientos irregulares en Suelo de Conservación. Estos asentamientos son de escasos recursos y se encuentran en riesgo de derrumbes por las pronunciadas pendientes que presentan las laderas y en peligro de inundaciones (PAOT 2010). Algunas de las barrancas no han podido ser conservadas ni aprovechadas de manera adecuada y se han convertido en concentradoras de desechos sólidos y descargas sanitarias provenientes de asentamientos humanos aledaños (Schteingart y Salazar 2010:103). Dichas barrancas representan un tema de gran interés por abordar, tanto por la importancia ecológica que tienen para la ciudad, como por la condición de estar expuestas directamente a la presión que ejerce la expansión urbana, lo que implica cambios drásticos en el ambiente y en el funcionamiento de la zona.

Para esta investigación, se ha acotado la zona de estudio al poblado de San Lorenzo Acopilco, poblado semi-rural ubicado dentro de la delegación Cuajimalpa en suelo de conservación y rodeado de importantes áreas de valor ambiental para la ciudad. Además es uno de los poblados con mayor número de asentamientos irregulares y viviendas dentro de la delegación Cuajimalpa (PAOT, 2010 y 2011). También ha tenido un crecimiento demográfico y una

⁵ <http://www.paot.org.mx/centro/ceidoc/archivos/pdf/EOT-05-2010.pdf>

expansión física-espacial importante, por lo que es un caso de estudio representativo para ser analizado dentro de la periferia de Cuajimalpa.

Problemática en el Suelo de Conservación

Es de vital importancia preservar el suelo de conservación del Distrito Federal dado que brinda numerosos beneficios a la población de la zona metropolitana del Valle de México: constituye el área principal de recarga al acuífero del cual depende el abastecimiento de agua de millones de habitantes de la ciudad y el equilibrio estructural de sus suelos, representa la principal área de captura de bióxido de carbono y el principal suministro de oxígeno, y constituye una barrera contra el flujo y deposición de diversos contaminantes (Rodríguez et al., 2011).

El suelo de conservación es una categoría especial creada en la legislación urbana para la planeación territorial que establece restricciones para usos de suelo urbano debido a las características naturales que posee su ecosistema. Tiene un total de 88,442ha que representan el 59% del territorio del Distrito Federal, y está distribuido en 9 delegaciones administrativas. Estas zonas comprenden la mayoría de las áreas rurales al sur de la ciudad e incluye una larga porción de montañas y barrancas del Chichinautzin, Las Cruces y el Ajusco. Al este abarca el cerro de la Estrella y Santa Catarina y los lagos de Xochimilco, Tláhuac y Chalco. “Desde un punto de vista Ecológico, el Suelo de Conservación comprende ecosistemas con más de 1800 especies de plantas y animales”, provee servicios ambientales los cuales son esenciales para el equilibrio sustentable de la ciudad y la calidad de vida de los habitantes (Aguilar, 2008).

En la última década del siglo pasado, la urbanización ha coincidido en las delegaciones que tienen una superficie importante de suelo de conservación y por ende en terrenos de propiedad comunales y en menor medida privados (Cruz R. 2011:77). Por lo que es necesario recalcar la importancia de la tenencia de la tierra como aspecto importante en el proceso de expansión urbana hacia estas zonas de conservación. La tabla 2 muestra un comparativo del crecimiento urbano por tipo de propiedad en las delegaciones⁶ de la CDMX en el periodo 1990-2000. En total, el 50.3% del crecimiento urbano de la ciudad se da en propiedad

⁶ Sólo están consideradas las delegaciones que tuvieron crecimiento urbano en el período.

comunal, mientras que un 36.5% se da en propiedad ejidal y un 13.2% en propiedad privada. En el caso de estudio que ocupa a esta investigación, Cuajimalpa presenta un 70% de crecimiento en propiedad comunal y un 27.4% en propiedad ejidal, mientras que un 2.4% de crecimiento se da en propiedad privada. Resalta que es la delegación con mayor crecimiento urbano en este periodo, con un total de 528 ha.

Tabla 2. Crecimiento urbano por tipo de propiedad en las delegaciones que tuvieron crecimiento en el periodo 1990-2000. Fuente: Base de datos el OCIM (Cruz R. 2011: 77)

Delegación	Privada	Ejidal	Comunal	Total
	ha / %	ha / %	ha / %	ha / %
Cuajimalpa	12.57 / 2.4	144.72 / 27.4	370.71 / 70.2	528 / 100
Magdalena Contreras	0.0 / 0.0	37.74 / 100	0.0 / 0.0	37.74 / 100
Milpa Alta	20.42 / 12.2	0.00 / 0.00	146.98 / 87.8	167.4 / 100
Tláhuac	103.34 / 26.6	285.49 / 73.4	0.00 / 0.00	388.83 / 100
Tlalpan	0.00 / 0.00	3.26 / 0.8	421.10 / 99.2	424.37 / 100
Xochimilco	145.75 / 24.8	306.87 / 52.2	134.68 / 23.02	586.97 / 100
Total	281.75 / 13.2	778.09 / 36.5	1, 073.47 / 50.3	2, 133.30 / 100

Las delegaciones con SC se han caracterizado por la presencia de actividades rurales agrícolas, pecuarias, forestales, etc., y con formas de poblamiento tradicional como los pueblos, que en los últimos años han mostrado una dinamización económica derivada de sus actividades artesanales, productivas y festivas. Este marco de actividades rurales con sus formas específicas de poblamiento se ha modificado por un crecimiento demográfico y físico interno de los pueblos, proceso que se ha encontrado con otros tipos de poblamiento relacionados directamente con la expansión urbana de la CDMX. Este encuentro entre lo rural y lo urbano da como resultado una gama de poblamiento heterogéneo que va desde la presencia de pueblos que tradicionalmente han estado en la zona hasta nuevos residentes procedentes de la ciudad u otras partes del País (Cruz, 2011). En este sentido, se encuentra una similitud con el caso de estudio dado el carácter rural del pueblo de San Lorenzo

Acopilco y el tipo de poblamiento heterogéneo producto tanto del crecimiento físico y demográfico del pueblo, como por la expansión de la ciudad.

En general, parte de la problemática es que se argumenta que la política de uso del suelo en la CDMX, ha sido reactiva e inconsistente, que ignora los asentamientos humanos irregulares y que carece de recursos financieros y capacidad institucional para darle soluciones, ha fallado en reorientar el crecimiento poblacional y conservar las zonas con valor ambiental; ha limitado el acceso de los pobres a una vivienda con servicios adecuados y a una mayor seguridad en la tenencia de la tierra, y además de no contar con un adecuado ordenamiento territorial que no ponga en riesgo el suelo de conservación. El gobierno local muestra incapacidad no sólo para integrar física y socialmente a los asentamientos irregulares dentro del tejido urbano, sino para detener la expansión urbana irregular en zonas de alto valor ambiental (Aguilar y Santos, 2011).

1.1 Objetivo general

- Determinar y evaluar el efecto ambiental ocasionado por la expansión urbana, así como identificar prácticas que contribuyen a la degradación del medio ambiente de la periferia de la CDMX. A través del análisis de sus aspectos urbanos, ambientales y sociales durante las últimas tres décadas; tomando como caso de estudio el poblado de San Lorenzo Acopilco (SLA) ubicado en SC en la delegación Cuajimalpa, CDMX.

1.2 Objetivos específicos

- 1. Urbano. • Analizar el proceso de expansión urbana de SLA, los cambios de uso del suelo en las últimas tres décadas.
- 2. Social-Demográfico. • Analizar el tipo de poblamiento, el crecimiento demográfico y los cambios en las densidades de población, así como su relación con la expansión de la periferia durante las últimas tres décadas.
- 3. Ambiental. • Analizar los cambios y el deterioro ambiental (deforestación, vertido de desechos en las barrancas, etc.) durante las últimas tres décadas como consecuencia de la expansión urbana en esta zona.

1.3 Antecedentes

En este apartado, se presenta un cuerpo de conocimientos y experiencias afines al proyecto de investigación. Por un lado, se exponen las investigaciones más relevantes sobre la urbanización de la periferia de la CDMX y, por otro, se abordan investigaciones que relacionan la periferia urbana y el ambiente. También, se presentan investigaciones recientes que abordan el tema del SC y sus antecedentes. Y, finalmente, se mencionan algunos antecedentes sobre la delegación Cuajimalpa y la zona de estudio de SLA.

La urbanización periférica de la CDMX en las últimas décadas se ha estudiado mediante análisis referentes al comportamiento demográfico, a las transformaciones espaciales, al poblamiento, a los asentamientos irregulares, al mercado del suelo, a la tenencia de la tierra y más recientemente a la cuestión urbano-ambiental, entre otros aspectos⁷.

Sin embargo, los estudios referidos a las consecuencias ambientales de la expansión física de la CDMX no han permitido conocer, de manera precisa, cómo ha sido afectado el Valle de México, ni las alteraciones que éste ha sufrido en las últimas décadas como resultado de esa expansión (Scheingart y Salazar, 2010). Es por ello importante generar análisis que vinculen las dinámicas y procesos urbanos, sociales, ambientales, y de políticas de uso de suelo para comprender el proceso de urbanización periférica y su repercusión en el medio ambiente.

Aguilar y Escamilla (2011) señalan la poca atención que ha recibido el proceso de periurbanización y su implicación en problemas para el medio ambiente. Así mismo, se refieren a las incongruencias en el marco legal y las políticas de uso de suelo, zonificaciones urbanas y ambientales en suelo de conservación, mismas que propician la expansión urbana hacia éstas zonas, entre otros aspectos.

Periferia urbana y ambiente

En términos ambientales, existen diversas investigaciones que se pueden considerar como referentes a los propósitos de esta investigación. Tal es el caso de Díaz-Chavez (2006), en

⁷ Algunas de las investigaciones relevantes sobre el tema son: Unikel (1976), Delgado (1994), Connolly (1988), (2004) y (2005), entre otras, Camposortega (1992), Cruz R. (2000), (2005) y (2011), Hiernaux D. (1991) y (1995), OCIM (1996), Bazant J. (2001) y (2004), UNAM-SEMARNAT-INE (2006), Aguilar (2008) y (2011), Aguilar y Escamilla (2009) y (2011), Scheingart y Salazar (2010), Merlín-Urbe (2013), Wigle (2014), Gilbert & De Jong (2015), entre otros.

donde aborda el tema de indicadores para medir el nivel de desarrollo sustentable en el caso de las áreas peri-urbanas en México. Muestra diferentes tipos de indicadores ambientales, sociales, económicos y de calidad de vida. Por otro lado, Rodríguez (2009) analiza el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo como indicador de las modificaciones humanas más visibles en los ecosistemas terrestres.

Douglas (2006) aborda el tema de las áreas peri-urbanas como zonas de transición o de interacción donde las actividades urbanas y rurales son yuxtapuestas y las características del paisaje son sujetas a modificaciones inducidas por las actividades humanas, donde se mezclan usos de suelo de larga duración, incluidos granjas, pueblos o áreas forestales y zonas de gran importancia ecológica.

En otra investigación, Velázquez (et. al) (2010) mapea los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal en regiones de México, en donde utiliza sistemas de información geográfica combinando diferentes bases de datos, cartografías, imágenes satelitales y fotos aéreas para identificar e interpretar los cambios ocurridos en entre 1976 y 2000. Examina los patrones espaciales y temporales de los recursos forestales en México, señala la necesidad de nuevas y efectivas técnicas de análisis geográfico para comprender y contribuir con información para prevenir o mitigar las tendencias negativas en los cambios del suelo y cobertura vegetal así como en el ambiente.

Suelo de Conservación

Sobre el Suelo de Conservación de la CDMX, es importante señalar la existencia de textos de reciente creación en donde se han estudiado sus antecedentes y aspectos jurídicos, las formas de tenencia de la tierra en este tipo de suelo, su proceso de urbanización y poblamiento, así como estudios económicos y de gestión ambiental, entre otros.⁸

Como antecedentes, el suelo de conservación SC dentro de la CDMX tiene sus orígenes en el año de 1980 cuando en el Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal se estableció una zonificación primaria que dividía su territorio en dos grandes zonas: la zona urbana y la zona no-urbana; en esta última zona, a su vez, dos subzonas se aprobaron: la Zona de

⁸ Aguilar y Santos (2011), Cruz (2011), Rodríguez et al., (2011), Sheinbaum (2011), Perez et. al. (2011), entre otros.

Amortiguamiento que representaba una zona de transición entre la realidad urbana y la rural, y la Zona de Preservación bajo una estricta política de protección de sus características ambientales y la prohibición de ocupación urbana. Ésta última fue el antecedente del SC (Departamento del Distrito Federal) (Aguilar y Santos 2011:)

Existen 2 principales regulaciones entorno al suelo de conservación en el Distrito Federal: “desde el punto de vista ambiental existe el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (2003), que se basa en la Ley Ambiental del Distrito Federal (*Gaceta Oficial Federal, 13 de enero de 2000*); desde el punto de vista urbano se aplica el Programa General de Desarrollo Urbano (*Gaceta Oficial del Distrito Federal, 31 de Diciembre de 2003*), que a su vez se sustenta en la Ley de Desarrollo urbano del Distrito Federal del 1996 (*Gaceta Oficial del Distrito Federal, 11 de Agosto de 2006*). Además, cada delegación tiene un Plan de Desarrollo Delegacional que también aplica en el SC (Aguilar y Santos, 2011).

Sobre Cuajimalpa

La delegación Cuajimalpa se caracterizó hasta la primera mitad del siglo XX por rasgos rurales en donde se realizaban actividades relacionadas con la explotación forestal, y en menor medida agrícola. La cercanía con los bosques y condiciones ambientales directamente relacionadas con la vida campirana determinó la ubicación de viviendas residenciales y casas de campo para sectores de altos ingresos. El desarrollo del poblamiento residencial se presentó a partir de la cabecera delegacional (constituida por el pueblo de Cuajimalpa) y del pueblo de Contadero. De 1970 en adelante tuvo un crecimiento significativo, paralelamente al desarrollo residencial aparecieron colonias populares localizadas en las laderas y barrancas situadas en las cercanías de los pueblos. Posteriormente en la década de los ochenta el desarrollo y promoción inmobiliaria que provocó Santa Fe generó una valorización importante del suelo y la creciente formación de áreas residenciales y comerciales de muy alto nivel (Cruz R. 2011:81). La delegación Cuajimalpa tiene en su estructura urbana cinco pueblos: Cuajimalpa, San Pablo Chimalpa, Contadero, San Mateo Tlaltenango y San Lorenzo Acopilco. El mayor número de asentamientos irregulares y viviendas se ubican en los pueblos de San Lorenzo Acopilco y San Mateo Tlaltenango, el hecho de que estén tan cerca de los pueblos supone que la urbanización de los terrenos responde tanto a un crecimiento

natural de los hogares de población de los pueblos, como a la demanda de suelo para formar colonias populares (Cruz R. 2011).

Por otro lado, Hagene (2010) aborda desde una perspectiva etnográfica las prácticas políticas y democráticas, así como la articulación de leyes y procesos electorales que contribuyen al establecimiento de asentamientos irregulares en el poblado de SLA. Además, explica que estas prácticas políticas clientelares contribuyen al incremento de asentamientos y a la deforestación en donde influyen muchos actores e intereses. Finalmente menciona unas recomendaciones para evitar este tipo de prácticas y así evitar el crecimiento urbano irregular en éstas áreas de alto valor ambiental para la ciudad.

1.4 Hipótesis

El aumento demográfico y la expansión física de la ciudad sobre las barrancas de Cuajimalpa, ubicadas en suelo de conservación ecológica, repercuten directamente en la generación de problemas ambientales y urbanos para la CDMX. El análisis de este proceso de urbanización periférica durante las últimas 3 décadas, permite identificar el efecto ambiental ocasionado por la expansión urbana. Con ello, se derivan parámetros de impacto ambiental en las periferias lo que contribuirá a la formulación de estrategias o políticas para revertir o mitigar el deterioro ambiental.

1.5 Marco Teórico

En este apartado, se exponen las principales corrientes de pensamiento y referentes teóricos en el tema urbano-ambiental de la periferia como referencia principal al problema de investigación. Dichas aproximaciones utilizadas en la investigación explican el fenómeno de la expansión urbana de la periferia y su relación con el medio ambiente. También, se explican teóricamente los tipos de análisis utilizados, los cuales forman parte de abordajes analíticos que han sido exitosos sobre los efectos ambientales que causa la urbanización.

Expansión urbana y periferias

Se plantea que la periferia urbana es un fenómeno social y espacial que se repite de manera continua e interminable sobre el contorno de cualquier ciudad, independientemente de su aptitud para el desarrollo urbano o del deterioro ambiental que pueda ocasionar. Es una dinámica y cambiante línea virtual, que hace difícil establecer límites entre lo rural y lo urbano. Por ello este límite se conceptualiza como una *franja de transición* en las que hay viviendas dispersas entre áreas de cultivo con ambos usos del suelo: urbano y rural (Bazant, 2010).

El carácter de los espacios periféricos es que están en constante transformación de uso del suelo, en donde se generan cambios socioeconómicos y ambientales; representan un sistema ecológico y socioeconómico muy específico y cuya definición debe analizarse como un gradiente, una franja en transición, junto a las interacciones entre las dos realidades: la urbana y la rural. El proceso de urbanización de la periferia, muestra que las políticas urbanas tienden a favorecer una expansión urbana dispersa y un patrón urbano fragmentado, que no garantiza el acceso al suelo a los sectores de más bajos recursos. En estas zonas surgen espacios heterogéneos, algunas tienden a aislarse, también surgen asentamientos entre los cuales no existen interacciones ni de cohesión social. Aunado a la distancia cada vez mayor que generan entre las zonas de trabajo y residencia lo que implica la dependencia del transporte y mayor generación de emisiones contaminantes, entre otros aspectos (Aguilar y Escamilla 2011:7).

Es importante considerar el borde rural-urbano como una extensión de la ciudad y no como una zona independiente, porque en realidad está integrado a la ciudad en diversos aspectos, no sólo en términos ecológicos, sino procesos económicos y sociales están presentes en este

borde, como los mercados agrícolas que proveen a las poblaciones urbanas o paisajes recreacionales o de esparcimiento para los habitantes urbanos. Estas zonas son fuente importante de recursos para la ciudad y también lugar de depósito. Por un lado, abastecen a la ciudad por ejemplo de población migrante flotante, materiales de construcción, maderas, y recursos energéticos, comida y agua, y por otro la ciudad provee a la periferia de productos manufacturados servicios, así como diferentes tipos de desechos sólidos y líquidos (Aguilar 2008).

Asentamientos Humanos Irregulares (AHI)

Lo que caracteriza a los asentamientos irregulares es que son muy dinámicos y muestran un acelerado proceso de expansión y consolidación del territorio lo que trae como consecuencia una creciente demanda de equipamiento y servicios para los nuevos habitantes y que no existe unidad de conjunto urbano ni congruencia con las condicionantes del terreno (Bazant, 2004)

La definición que generalmente utiliza el programa Hábitat de Naciones Unidas para clasificar a los AHI usa cinco indicadores a nivel de vivienda; cuatro se refieren a la condición física de los AHI , bajo esta perspectiva los AHI concentran tres principales dimensiones de la pobreza: la primera se refiere a la calidad de la vivienda y la presencia de servicios básicos, a ésta se le puede denominar la dimensión física de la pobreza; la segunda, sería la situación legal de la vivienda o la tierra urbana, que se vincula a la forma de adquisición de la propiedad y que se le puede denominar la dimensión jurídica; y la tercera, toca el tema del empleo y del ingreso de sus habitantes y a ésta se le puede llamar la dimensión social (UN-Habitat, 2006; Aguilar y Santos 2011)

Por otro lado, Cruz (2011) plantea que la diversidad del poblamiento sugiere características específicas presentes en la urbanización reciente de las delegaciones con SC. El encuentro entre lo rural y urbano marcará formas particulares en que los asentamientos humanos se presentan. En particular los asentamientos irregulares se conciben desde una perspectiva urbana que los considera como formas de poblamiento directamente equiparables a la formación de colonias populares. Es relevante mostrar la importancia de los pueblos y los asentamientos rurales en la estructura de su poblamiento, su relación con los asentamientos irregulares y las características particulares de la urbanización de su territorio (Cruz, 2011).

Ambiente y deterioro

En términos de urbanización periférica e impacto ambiental, se toma en cuenta que dentro de la zona de conservación, en la actualidad se pueden identificar diferentes modalidades en la urbanización; la que atañe a nuestro problema es la invasión de áreas naturales protegidas con aptitud de uso distinto a la urbanización, como es el caso de las áreas de barrancas. En éstas áreas ha surgido un patrón urbano disperso, con múltiples asentamientos de pequeñas dimensiones, y con una importante dinámica demográfica y de expansión física. La importancia de preservar esta área radica no sólo en el valor ecológico que ostenta, sino además en la trascendencia que tiene para mantener la calidad de vida de los habitantes de la metrópoli (UNAM-SEMARNAT-INE. 2006:6).

Por un lado, en el análisis ambiental es importante identificar los principales cambios y procesos que caracterizan los espacios de la periferia urbana en las grandes ciudades. Podemos mencionar procesos importantes relacionados con el ambiente por ejemplo; poco apoyo a las actividades agrícolas combinado con la presión del mercado inmobiliario propician la ocupación urbana; la promoción de un patrón disperso de la ocupación mediante desarrollos residenciales o grandes infraestructuras; establecimiento de asentamientos humanos irregulares con precarias condiciones de vivienda y servicios básico; se convierten en depósitos de desechos sólidos y líquidos; explotación de recursos naturales; stress ambiental en áreas verdes o forestales; explotación de agua y mantos acuíferos y alteración de cauces naturales; inundaciones y deslaves, entre otros (Aguilar, 2008).

Por otro lado Bilborrow y Okoth-Ogendo (1992), analizan la forma en que el crecimiento demográfico influye en los cambios de uso de la tierra y cómo esto se relaciona con la degradación ambiental. Sugieren estudiar este proceso de relación en etapas particulares de la transición demográfica. Explican que la degradación depende del régimen de tenencia de la tierra, que a su vez determina el acceso a la tierra en una sociedad, el nivel de tecnología y las políticas ambientales (Bilborrow y Okoth-Ogendo 1992, citado en: Saavedra y Rosalva 2000:27).

En el análisis ambiental, es importante considerar el tipo y la magnitud del cambio de uso de suelo y de cobertura vegetal ya que son los indicadores ambientales más importantes (Velázquez et al 2000) y permiten detectar dónde, cuándo y porqué se están presentando

ciertos cambios que afectan a los recursos naturales (Jansen 2002). En un ecosistema sujeto a estrés antrópico, los cambios son acelerados y afectan los procesos y las funciones ecológicas. Esto da como resultado la desertificación, deforestación, fragmentación del hábitat, pérdida de la biodiversidad, y eventualmente influye en los procesos de calentamiento global, así como en una reducción de las posibilidades de tener servicios ecosistémicos.

Cambio de uso de suelo y cobertura

El cambio de uso de suelo y cobertura en la superficie terrestre es uno de los fenómenos más complejos y de una gran magnitud sin precedentes en la historia de la humanidad (Lambin, 2001). Los cambios en cobertura (atributos biofísicos) y uso de suelo (el propósito que el ser humano confiere) son de los más importantes. Los estudios de cambio de cobertura y uso del suelo analizan y clasifican los tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona o región determinada. Así mismo, estos cambios están directamente asociados con transiciones demográficas e implicaciones críticas al ambiente y a la sociedades (Lambin, 2001). En la actualidad, los cambios del uso del suelo están transformando la cobertura rápidamente sin que se tenga cuantificado este cambio en escala global, regional y local (Rodríguez G. 2009).

Cubierta forestal de acuerdo con la definición expresada en el Protocolo de Kioto (UNFCCC, 2004) se entiende como “una extensión mínima de tierra de 0.5 a 1.0 ha. con una cubierta de copa de los árboles (o una densidad de población equivalente) de más del 10 al 30%, con árboles que tienen posibilidades de alcanzar una altura mínima en el lugar de 2 a 5 metros en su periodo de madurez” (PAOT y CentroGeo 2010). La definición de cubierta forestal es una construcción elaborada a partir de la asociación a una variable biofísica que puede ser medida de manera directa.

Otra definición, que es probablemente la más empleada es la que se propone en el *Forest Resources Assessment Program* de la FAO, en la cual “Bosque” se define como las tierras de más de 0.5 hectáreas, con una cubierta de copa de más del 10%, que no son principalmente aprovechadas bajo uso agrícola o urbano (FRA, 2000). La cubierta forestal es uno de los 48 indicadores en el proceso de evaluación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ONU, 2005). Es también uno de los cinco indicadores de evaluación de capital natural del Gobierno

de Canadá dentro de la iniciativa para desarrollar Indicadores de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ESDI) y que constituye el único indicador nacional periódicamente actualizado (Chen *et al*, 2006).

Lopez Erna y colaboradores (2001), plantean que una forma de monitorear la transformación rural - urbana es mediante el análisis del cambio en el uso del suelo. Un estudio de la cobertura y uso del terreno supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona o región determinada (Anderson et. al., 1976). El conocimiento de los procesos del cambio de cobertura son aún fragmentarios para estimar el pleno impacto de estos cambios en sistemas naturales y humanos (Lambin, 1997). Por tal motivo, los estudios cambio de uso suelo y cobertura sobre este tema son fundamentales.

Índices degradación ambiental

Para evaluar la degradación ambiental en territorios urbanos, existe la posibilidad de utilizar ciertos índices que nos señalan el grado de deterioro o perturbación ambiental a partir del análisis de los cambios o transformaciones del paisaje. Estos cambios pueden ser producto de actividades antrópicas o naturales sobre los ecosistemas. Romero y colaboradores (2009) han utilizado una serie de índices para estimar la magnitud del daño del ecosistema (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de degradación de ecosistemas. Fuente: (Romero, M. 2009)

ÍNDICE	DESCRIPCION
NPB	Número total de fragmentos o parches de bosque o vegetación espontánea
TMPB (ha)	Tamaño promedio de los fragmentos (Polígonos de bosque)
DS(ha)	Desviación estándar del tamaño medio de los fragmentos de bosque o vegetación
MNN (m)	Distancia media entre fragmentos de bosque o parches de vegetación espontánea
BU (ha/ha)	Relación hectáreas de bosque (B) por hectáreas de uso urbano (U)
Bhab (ha/Hab)	Hectáreas de bosque (B) por habitante (Hab)

TD	Tasa de deforestación
----	-----------------------

Interpretación de los índices

NPB y TMPB: Entre mayor sea la cantidad y el tamaño medio de los parches menor la degradación y mayor las posibilidades de que el fragmento de bosque constituya un hábitat para las especies. La desviación estándar es un indicador de la variabilidad del tamaño promedio.

MNN = Mide el grado de aislamiento o agrupamiento de los parches de bosque o vegetación. Estima la distancia promedio entre todos los parches de un mismo tipo, en este caso de los fragmentos de bosque o vegetación. Relaciona la distancia real con la distancia probable para expresar la probabilidad de que la distribución espacial sea aleatoria. Entre menor tamaño y mayor MNN mayor es el grado de fragmentación del bosque y por tanto mayor la degradación del ecosistema.

BU: Por 1 Hectárea de uso urbano ¿cuántas hectáreas de bosque existen?

$$BU=B/U$$

Dónde B=superficie de Bosque (hectáreas) y U=superficie de Uso Urbano (hectáreas)

Bhab= ¿Cuántas Hectáreas de bosque (o vegetación) hay por habitante en la micro cuenca o la región? Bhab=B/P Dónde B=Hectáreas Bosque y P=Población total

TD

Estimación de tasa anual de deforestación $r = \left(\frac{1}{t_2-t_1}\right) \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ (Puyravaud, 2002)

r= tasa de deforestación

A₁= Superficie en t₁

A₂= Superficie en t₂

t₂ - t₁= Diferencia del tiempo entre la base de datos original (t₁) y la última (t₂).

Sellamiento del suelo

El sellamiento del suelo es la permanente cubierta de un área de tierra y su suelo por un material artificial como el asfalto o concreto (EUC, 2012; EUCC, 2011). Está identificado como uno de los procesos más importantes de degradación de suelos de acuerdo a *Soil thematic Strategy* y la agencia europea del ambiente (EEA 2011). La creciente urbanización y cambio del paisaje se percibe como uno de los grandes retos de nuestros días y se prevé que las futuras generaciones no verán un suelo saludable en el transcurso de su vida mientras continúe la tendencia de crecimiento urbano y una vez que el suelo haya sido destruido o degradado (EUC, 2012).

El sellamiento de suelos repercute en diversas funciones ambientales, económicas y sociales que hacen de este un aspecto importante a considerar dentro del impacto ambiental que produce la urbanización. El sellamiento artificial es generalmente extensivo y permanente y conlleva una modificación de la función del ecosistema (Scalenghe et al., 2009). El suelo sellado, no permitirá desempeñar el rango de las funciones ambientales asociadas a éste una vez separado de sus otros componentes ambientales (Scalenghe et al., 2009)

El efecto del sellamiento de suelos en la mayoría de los componentes ambientales concierne a reacciones energéticas y químicas, así como en el intercambio de agua, gas, partículas y energía entre el suelo y otros componentes ambientales (Tabla 4), por ello la afectación de las funciones propias del suelo (Scalenghe et al., 2009), además de los efectos en los servicios eco sistémicos y de recreación o culturales que puedan prestar.

También, es importante mencionar que el secuestro de carbón por el suelo reduce su liberación a la atmosfera como CO₂, uno de los responsables del cambio climático. El suelo contribuye indirectamente a modular temperatura y humedad, lo cual mejora la calidad del aire, aspectos relacionados con la calidad de vida. Así mismo, la infiltración del agua en el suelo no sellado reduce los niveles de escorrentía, lo que evita inundaciones y arrastres de desechos u otros objetos hacia partes bajas de zonas urbanas, almacena agua para la vegetación y evita la sobrecarga de los drenajes urbanos (Cram et al., 2008).

Tabla 4. Componentes, efectos, tiempos y consecuencias del sellamiento de suelos. Modificado con base en (Scalenghe 2009:3).

Componente	Efectos	Tiempo	Consecuencia
Temperatura	Disminuye absorción de radiación solar	Corto plazo	Mayor superficie de reflectancia. Isla de calor
Agua	Menor infiltración	Mediano y largo plazo	Menor filtración. Fisuras o grietas. Pérdida de biomasa. Disminución de recarga de acuíferos
Agua	Mayor escorrentía Evapotranspiración	Corto y mediano plazo	Incremento de agua en áreas cercanas. Transferencia de contaminantes. Incremento del riesgo a inundaciones
Gas	Intercambios interrumpidos y reducidos	Corto y mediano plazo	Riesgo de anaerobiosis Producción CH ₄
Biota	Pérdida de la cubierta vegetal/forestal, Plantas/biomasa	Mediano y largo plazo	Absorción de carbono Pérdida biodiversidad
Paisaje	Incremento de erosión por viento y agua. Uniformidad	Corto, mediano y largo plazo	Aumento de partículas en ambiente. Erosión de áreas adyacentes. Impacto en apariencia estética y visual. Reducción de espacios de esparcimiento y de servicios eco sistémicos en general.
Suelo	Pérdida de funciones del suelo	Inmediato	Pérdida de Biodiversidad Pérdida de captación de CO ₂

La figura 1 nos muestra los efectos sobre el ciclo hidrológico que conlleva el sellamiento de los suelos en áreas urbanas. De tal manera que se observan los porcentajes de escorrentía, evapotranspiración, infiltración superficial e infiltración profunda desde un ambiente libre de área sellada hasta llegar a un 75% y 100% de superficie sellada. Mientras haya un incremento del área sellada, habrá una menor capacidad de infiltración profunda y un aumento de la escorrentía, lo que trae como consecuencia un mayor riesgo de deslaves e inundaciones, entre otros.

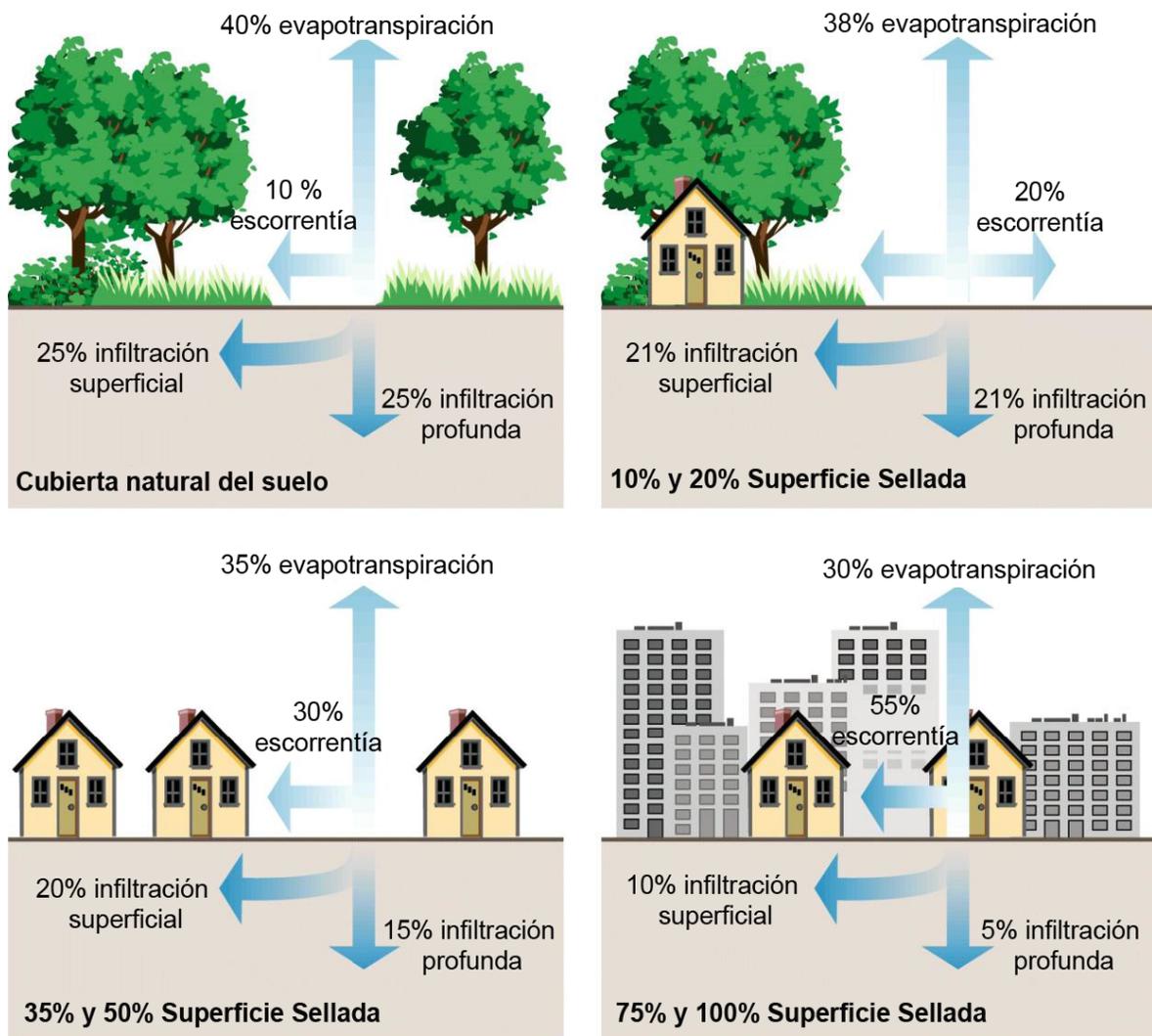


Figura 1. Esquema del porcentaje de infiltración superficial, infiltración profunda y escorrentía de agua de acuerdo al porcentaje de área sellada. Fuente: Modificado de: (Abhas J., et al. 2011).

La información anterior nos muestra que el sellamiento de suelos es un indicador fundamental para estimar el efecto ambiental producido por la urbanización. Con ello es posible estimar la pérdida de la recarga del acuífero a diferentes escalas de trabajo como se muestra más adelante.

Fragmentación del hábitat

García D. (2011) menciona que la fragmentación es el resultado de procesos de alteración paisajística, entre ellos: la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; la subdivisión creciente del hábitat remanente; y el incremento de la relación perímetro/superficie en dicho hábitat. Estos procesos suelen estar íntimamente relacionados entre sí, como en las situaciones de degradación antrópica, por ejemplo, en el proceso de deforestación para apertura de tierras de cultivo suele concentrarse en la periferia de los fragmentos forestales ya existentes, empequeñeciéndolos o incluso haciendo desaparecer a los más pequeños.

Por otro lado, también puede considerarse a la fragmentación como la división de un hábitat continuo en zonas más pequeñas y aisladas, cuyos resultados son: la reducción del área total del hábitat, la reducción del tamaño de los parches de hábitat y el aumento del aislamiento en las poblaciones que los habitan (ECOTONO, 1996). Según Primack (1993) el proceso de fragmentación no ocurre al azar, las áreas más accesibles de topografía poco accidentada y con alta productividad son las primeras en ser alteradas para utilizar las tierras en agricultura, asentamientos humanos o extracción forestal. La fragmentación de los bosques, es un tipo de deterioro que determina cambios en la relación perímetro/superficie, y tiene una directa relación en la formación de los perímetros o bordes y en la forma de las unidades de bosque. En este sentido existe la utilización de indicadores simples que señalan el índice de fragmentación. Tal como se mostró anteriormente en el indicador de fragmentos de bosque y tamaño.

Análisis Multivariado

El análisis multivariado, se relaciona con el estudio y procesamiento de numerosas variables simultáneamente. La necesidad de un análisis multivariado proviene cuando más de una característica es medida en un número de individuos y las relaciones entre las características hacen que sea necesario estudiarlas simultáneamente (Gauch, 1985).

Para realizar un análisis multivariado se tienen que tomar en consideración las propiedades del conjunto de datos. Uno de estos elementos, es el número de individuos o atributos al cual se le conoce como umbral. Algunos autores consideran que el umbral para justificar un análisis multivariado varía entre 10 y 15. Por otro lado, cuando las variables son 5 o menos,

las aproximaciones multivariadas no son apropiadas y el análisis estadístico de varianza o diagramas de dispersión tienden a ser más fructíferos.

El análisis multivariado se aplica a un conjunto de datos que: 1) está organizado en una matriz de dos dimensiones y 2) la matriz tiene un tamaño de por lo menos 10 x 10 o 15 x 15 (Gauch, 1985). El papel del análisis multivariado es recibir datos crudos y a partir de su condensación o resumen de su estructura, producir resultados económicos y breves.

Dentro del análisis multivariado, la ordenación es el término colectivo utilizado para las técnicas multivariadas que ordenan sitios a lo largo de ejes en la base de datos de la composición de muestras o especies en el caso de estudios de ecología. El resultado de la ordenación en dos dimensiones (dos ejes) es un diagrama en el cual los sitios son representados como puntos en un espacio bi-dimensional. El objetivo de la ordenación es ordenar los puntos de tal manera que los puntos que estén juntos corresponden a sitios que son similares en la composición de las muestras, y los puntos que estén apartados corresponden a sitios que tienen una composición no-similar. La ordenación incluye lo que psicólogos y estadísticos refieren como escala multidimensional, análisis de componentes, análisis de factores y análisis de estructura latente (Jongman, 1995).

Análisis de clúster o conglomerados

El análisis de conglomerados (clúster) es una técnica multivariada que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. El análisis de conglomerados se puede combinar con el Análisis de Componentes Principales (ACP), ya que mediante ACP se pueden homogeneizar los datos, lo cual permite realizar posteriormente un análisis clúster sobre los componentes obtenidos. La ordenación de datos y su normalización se combina con el Análisis de Correspondencia sin tendencia o *DCA*

El análisis de correspondencia es un método de promedios ponderados usado en análisis directo de gradiente de Whitaker (1967). Whitaker, entre otros, observaron que las especies comúnmente muestran respuestas en forma de curvas de campana con respecto a gradientes ambientales. Por ejemplo, una especie de planta puede preferir un tipo particular de suelo y no crecer en todas partes donde el suelo es muy seco o muy húmedo (Jongman 2005)

El análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) *Detrended correspondence analysis*, es una técnica de análisis indirecto de gradiente, para resumir cambios ecológicos a través del tiempo. También es una técnica de ordenación del factor eigen (*eigenvector*), basado en el análisis de correspondencia (CA or RA) (Hill & Gauch 1980). DCA está orientado a bases de datos ecológicos y la terminología está basada en unidades de muestra y especies (McCune & Grace, 2002).

Interpretar los diagramas de ordenación CA y DCA requiere de cuidar los siguientes aspectos. Los puntos de especies que se ubiquen en cima del eje comúnmente son especies raras, caen ahí porque prefieren condiciones extremas. EL DCA mejora las ordenaciones de re-escalamiento multidimensional reduciendo el efecto arco producido por otras técnicas de ordenación (Hill & Gauch, 1980).

Capítulo II

2 Metodología de investigación

A continuación se enuncia por etapas la metodología utilizada en esta investigación:

1) **Delimitación del periodo temporal (1989-2010) e identificación de las zonas de estudio.** Ubicar los puntos en los que se llevaron a cabo los muestreos y el trabajo de campo en el poblado de San Lorenzo Acopilco (SLA). En este sentido, se realizó el análisis a 2 escalas geográficas: la primera escala es de corte regional (aprox. 1:15,000) en donde el análisis es primordialmente ambiental y los criterios de delimitación son a partir de condiciones geomorfológicas y de cobertura vegetal. La segunda escala es de corte local (aprox. 1:5,000), se eligieron 3 casos de estudio de 400 x 400 mts. equivalentes a 16 ha. Cada caso tiene diferentes características urbanas, sociales y ambientales. En esta escala se toman en cuenta distintos componentes e indicadores y se abordaron aspectos ambientales tales como la producción de residuos sólidos y líquidos.

2) **Recopilación de información** bibliográfica, cartográficas y aerofotográfica por década a partir del año de 1989 a 2010.

Elaboración del instrumento de investigación de campo para el levantamiento de encuestas y observación a escala local⁹.

Recopilación de información procedente de campo. El trabajo de campo consistió en dos aspectos principales; a) observación y b) levantamiento de encuestas dentro de los 3 casos de estudio a escala local. El levantamiento de encuestas a viviendas dentro del área de los casos de estudio se realizó a la par de la observación de la vivienda y del entorno. En este sentido se levantaron 32 encuestas en total. Es importante destacar que para cada uno de los casos se escogió una muestra de 10 viviendas de tal manera que fueran representativas del caso de estudio¹⁰. Cabe mencionar que las entrevistas estuvieron sujetas a la disponibilidad y colaboración de los habitantes. En la cédula de observación se fueron anotando los aspectos

⁹ Ver modelo de encuesta y cedula de observación utilizados en los anexos

¹⁰ Las encuestas se realizaron a viviendas que tuvieran las características más representativas y similares de cada caso de estudio de acuerdo a la observación de campo. Cabe señalar que es un levantamiento cualitativo dado el número de encuestas realizadas.

de interés para la investigación como; la calidad de la vivienda, el abastecimiento de agua, la cantidad de basura en el entorno, el vertido de desechos, si los habitantes cuentan con recolección de basura, la calidad de la vegetación y el paisaje, entre otros. En la tabla 5 podemos observar los indicadores recabados a partir de la observación de campo y las encuestas realizadas.

Tabla 5. Tabla de indicadores recabados en campo¹¹. .

Variable	Indicador
URBANO	Fuente abastecimiento agua potable/lote
	Pavimento frente/lote
	Drenaje/lote
	Niveles Construidos
	Materiales Construcción
AMBIENTAL	Paisaje perturbado
	Basura entorno
	Vulnerabilidad
SOCIAL	# Habitantes /lote
	Ingresos salarios /lote (# miembros que trabajan)

Desglose de la información recopilada por variable

Variable urbana: cartografías delegacionales (Plan Parcial Delegación Cuajimalpa de Morelos de 1997 y 2007)¹². Cartografías de Cuajimalpa de Morelos 2000 y 2010 Archivo digital .dwg (obtenida del posgrado de arquitectura y urbanismo UNAM). Fotografías Aéreas de 1989 y 1999 (INEGI) y 2010 (Instituto de Geografía UNAM).

¹¹ Ver cédula de observación y modelo de encuesta aplicado en anexos para consultar detalles sobre criterios.

¹² <http://www.seduvi.df.gob.mx/seduvi/cartografia/programasdelegacionales/cuajimalpa.pdf>

Variable Social: Censos de Población 1990, 2000 y 2010 (INEGI). Censo de Población y vivienda 1995 y 2005 para el análisis a escala regional. Muestreo de campo en familias de residentes a escala local en los 3 casos de estudio propuestos.

Variable Ambiental: Fotos aéreas por década e imágenes satelitales a partir de 1989 para analizar la pérdida de cobertura vegetal y área sellada, los cambios de uso de suelo forestal y agrícola. Modelo Digital de Elevación (MDE) INEGI 2010. Inspecciones de campo para corroborar el estado ambiental de las zonas de estudio a la escala local (estado del río, cobertura forestal y suelos a partir de observación, así como identificar y estimar las descargas de aguas negras y residuos sobre barrancas producidos por las viviendas).

3) Descripción de indicadores utilizados a la escala regional.

En una primera escala de trabajo, aproximadamente 1:15,000, el análisis fue primordialmente de corte ambiental, esto comprende analizar el cambio en la cobertura forestal y la fragmentación del hábitat. Así mismo, en esta escala, se analizó el proceso de expansión urbana y cambios de uso de suelo de San Lorenzo Acopilco (SLA) en las últimas 3 décadas, considerando la unidad administrativa urbana AGEB que comprende SLA.

A esta escala se trabajaron:

- a) Uso de suelo forestal y agrícola.
- b) Área sellada. Expansión urbana de SLA.
- c) Fragmentación

El análisis de estos componentes se trabajó durante las últimas 3 décadas (1990, 2000 y 2010) para obtener información sobre cambios en la cobertura vegetal que permitan discutir el deterioro ambiental con base en los siguientes indicadores (Tabla 5):

Tabla 6. Indicadores utilizados a escala regional.

Indicador	Unidad de medición	Fuente de información	Criterio/descripción
Cambio de uso de suelo por década	Hectáreas (ha) % de cambio	Fotografías aéreas de los años 1990, 2000 y 2010	Cambio de uso Forestal-Agrícola Forestal-Urbano Agrícola-Urbano
Área Sellada	ha	Análisis Fotografías Aéreas	Área construida Pavimentada
Fragmentación ¹³	Índices fragmentación	Fotografías aéreas de los años 1990, 2000 y 2010	Índice de fragmentación ¹⁴
NPB			
TMPB (ha)			
DS(ha)			
MNN (m)			
BU (ha/ha)			
Expansión Urbana SLA	Hectáreas (ha)	Fotografías aéreas de 1990, 2000 y 2010	Incremento del área construida de SLA
BU (ha/ha)	Hectáreas	Fotografías aéreas de 1990, 2000 y 2010	Relación hectáreas de bosque (B) por hectáreas de Uso Urbano (U)
Bhab(ha/hab)	Habitantes/Hectáreas	Fotografías aéreas de 1990, 2000 y 2010	Hectáreas de bosque (B) por habitante (Hab)
TD (ha/año)	Tasa anual de deforestación	Fotografías aéreas de 1990, 2000 y 2010	Tasa de deforestación positiva o negativa
Índice de Naturalidad	Índice de Naturalidad	Fotografías aéreas de 1990, 2000 y 2010	Índice de Naturalidad
Pendiente	Porcentaje %	MDE INEGI 2010	Porcentaje %

3.1) Descripción de indicadores utilizados escala local. Como se mencionó en la delimitación de las zonas de estudio, la escala local comprende 3 casos de estudios de 400 x

¹³ Ver la descripción de estos indicadores en la parte del marco teórico.

¹⁴ Ver la descripción de estos indicadores en la parte del marco teórico.

400 mts. equivalente a 16 ha. Cada caso tiene diferentes características urbanas, sociales y ambientales. En esta escala se trabajaron los siguientes indicadores (tabla 7):

Tabla 7. Indicadores utilizados a escala local.

Indicador	Unidad de medición	Fuente de información	Criterio
Calidad de la vegetación	Observación	Observación Campo	Perturbación S/N
Cantidad residuos Sólidos y líquidos	kg/hab/día lts/hab/día	Campo	Estimación de producción de residuos por vivienda
Cambio de uso de suelo por década	Km2 % de cambio	Fotografías aéreas de los años 1990, 2000 y 2010	Cambio de uso Forestal-Agrícola Forestal-Urbano Agrícola-Urbano
Área Sellada	ha	Análisis Fotografías Aéreas	Área construida Pavimentada
Socioeconómico	ingresos	INEGI/observación campo	Alto/Medio/bajo
Patrón de lotificación	m ²	Fotografías/ Cartografías	
Infraestructura urbana	Drenaje, Agua Potable Luz	Observación Campo	S/N
Tasa de cambio	Tasa de Cambio uso de suelo	Fotografías áreas, áreas usos de suelo	Positivo o Negativo
Índice Naturalidad	Índice naturalidad	Áreas usos de suelo	Alto/Medio/Bajo

4) Procesamiento de información con las siguientes herramientas de software: En *Excel* se recopiló la información de las encuestas realizadas. Se llevó a cabo una sistematización de la base de datos obtenida. Posteriormente se realizó una normalización para el análisis multivariado de datos. El análisis estadístico multivariado se realizó con *SPSS*, *PCORD* y la versión 8 de *Matlab*.

Para el análisis de la expansión físico-espacial de SLA, del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal a escala regional y local, así como para el análisis de fragmentación y de pendientes, se utilizó un Sistema de información Geográfica (SIG) *ArcGIS 10*.

5) Análisis empleados por variables.

I) Urbano.- Expansión físico-espacial de los asentamientos durante las últimas 3 décadas, cambios uso de suelo (área sellada, área agrícola y cubierta forestal) y densificación en el tiempo. Se utilizó la siguiente formula desarrollada por Puyravaud (2002) para obtener las tasas de cambio en los usos de suelo:

$$\text{Estimación de Tasa anual de cambio } r = \left(\frac{1}{t_2-t_1}\right) \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

r= tasa de deforestación

A_1 = Superficie en t_1

A_2 = Superficie en t_2

$t_2 - t_1$ = Diferencia del tiempo entre la base de datos original (t_1) y la ultima (t_2).

Tendencias de crecimiento en las categorías de usos de suelo y cubierta forestal para el año 2020 utilizando regresión lineal. Posteriormente se utilizó un modelo de Markov para generar matrices de probabilidad y obtener las probabilidades de transición entre los usos de suelo.

II) Social.- Composición socioeconómica de familias (tipo de poblamiento)¹⁵ y cambios en el tiempo.

Demográfico.- Crecimiento poblacional de la zona, densidades de población.

III) Ambiental.-Análisis de cambio de uso de suelo, cobertura vegetal y fragmentación a escala local y regional (1:15,000). Para el análisis de fragmentación, se utilizó una herramienta elaborada por el *College of Agriculture and Natural Resources Center of Land Use Education and Research (CLEAR)* para el software *ArcGis 10* (CLEAR 2014).

¹⁵ El tipo de poblamiento se refiere a las características socioeconómicas de la población. En este sentido, esta información se obtuvo de la investigación de campo con base en el tipo de empleo y el nivel de ingreso a partir las encuestas realizadas a las familias (ver modelo de encuesta realizado en anexos).

Estimación de producción de residuos sólidos y líquidos a escala local (aprox. 1:5,000) y su relación con el tiempo durante las últimas 3 décadas (1990, 2000 y 2010). De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud¹⁶, para estimar el vertido de agua residual se considera que el 80% del consumo de agua se vierte a drenajes o a cauces de ríos, según sea el caso. Por lo anterior, se realizó la estimación del vertido a partir de la información del consumo de agua recabada en campo. Para estimar la producción de residuos sólidos, la información se obtuvo a partir de las visitas de campo y del cruce de información de acuerdo al estrato socioeconómico. También se revisó la información obtenida y se ponderó con información de la SEMARNAT¹⁷, la cual estima un aproximado de entre 1 y 1.4 kg/hab/día para los habitantes de la CDMX, para obtener una aproximación más aproximada per cápita.

Para estimar la recarga del acuífero por hectárea, se transformó la superficie del acuífero a hectáreas y se dividió entre la recarga total del acuífero. De acuerdo con datos de la CONAGUA, la recarga total media anual del acuífero de la Zona Metropolitana de la CDMX ZMCDMX es de 279,000,000 m³/año. El acuífero de la ZMCDMX se encuentra ubicado en el sur poniente de la Cuenca del Valle de México, ocupa el 17% de la superficie de la cuenca endorreica, la cual es de un área de 9600 km² (CONAGUA 2015). De tal manera que según los datos anteriores, la superficie del acuífero es de 1632 km².

Para estimar la recarga del acuífero por hectárea, se transformó la superficie del acuífero a hectáreas y se dividió entre la recarga total del acuífero.

$$\text{Recarga Acuífero ha} = \frac{\text{Recarga Total Media Anual}}{\text{Superficie del Acuífero ha}}$$

$$\text{Recarga Auifero ha} = \frac{279\ 000\ 000\ m^3/año}{163\ 200\ ha} = 1709.55\ m^3/ha/año$$

¹⁶ <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/026578/tomo1/026578-01.pdf>

¹⁷ http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/08_residuos/cap8.html

Lo anterior se obtuvo para estimar la pérdida de recarga del acuífero en m³/ha/año en relación al incremento del área sellada en la zona de estudio a las diferentes escalas de trabajo dado que esta zona se ubica en un área clasificada de valor medio y alto de recarga (PAOT 2012:56). Y de esta manera determinar cuantitativamente el impacto ambiental que ocasiona la urbanización, específicamente el sellamiento de los suelos.

El índice de naturalidad se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (Velázquez et. al. 2010)

$$I_n = (Ut_2 * 100)/St$$

Dónde: I_n = Índice naturalidad

Ut_2 = Área cubierta forestal (sin disturbio) en el tiempo 2

St = Superficie total de la cuenca

Análisis multivariado.- Se utilizó un método de análisis de gradiente indirecto denominado Análisis de correspondencia sin tendencia, *Detrended Correspondence Analysis (DCA)* por sus siglas en inglés. Para ello, se llevó a cabo una normalización de la base de datos obtenida de la investigación. Este procedimiento consiste en dividir cada valor entre el valor máximo de cada categoría. Esto permite combinar distintas variables categóricas y numéricas para realizar el análisis *DCA* en el software PCORD versión 5.

5) Análisis entre variables en el tiempo. Se analizó si existe una correlación, por ejemplo, entre: I) el incremento de la población y el nivel de deforestación, y el vertido de desechos. II) El tipo de poblamiento y deterioro ambiental. III) La expansión física y deterioro ambiental.

6) Interpretación de resultados en el tiempo. Se determinó cuantitativa y cualitativamente el deterioro ambiental que causa cada variable y su relación con el tiempo. Se determinaron los parámetros de impacto en la periferia urbana de acuerdo a distintas densidades de población en la periferia. También, a partir de los análisis realizados se obtuvieron las variables que producen el cambio en la urbanización periférica, en los usos de suelo y por lo tanto en el medio ambiente.

7) **Comprobación de hipótesis**. Se comprobó la hipótesis en el sentido de obtener en qué medida cada variable afecta el ambiente. Así mismo mediante los análisis realizados se obtuvieron parámetros de impacto ambiental en las periferias urbanas. Así como las principales variables que generan el cambio en la periferia urbana.

Capítulo III

3 Resultados

3.1 Delimitación zona de estudio

El estudio se delimitó a San Lorenzo Acopilco (SLA), un poblado rural localizado en suelo de conservación ecológica al sur-oeste de la delegación Cuajimalpa en la CDMX, en los límites con el Estado de México (Fig. 2). El entorno de SLA se caracteriza por la ubicación de la barranca del Río Borracho y tener zonas de Preservación Ecológica y de Alto Valor Ambiental las cuales son importantes para mantener un equilibrio ambiental en la CDMX. Se puede decir que esta zona es representativa en la delegación Cuajimalpa, tanto por sus características ambientales y por el tipo de asentamientos y porblamiento que se ubican en las barrancas como por el proceso de expansión urbana físico-espacial que se ha dado en las últimas décadas. Otra de las características es que dicho poblado se encuentra aislado de la mancha urbana de la ciudad. En este estudio, se acordó realizar el análisis sobre el deterioro ambiental producido por la urbanización a 2 escalas geográficas en las que se utilizaron diferentes tipos de análisis e indicadores.



Figura 2. Mapa que señala la localización de la zona de estudio sobre el territorio del D.F. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra el poblado de San Lorenzo Acopilco en una fotografía aérea de 2010 a escala 1:15,000. La línea en gris claro enmarca los límites de la zona de estudio cuya área es de 1436.57 hectáreas y la línea en amarillo es el límite del AGEB y su área es de 578.26 hectáreas, este límite caracteriza el poblado según el INEGI.

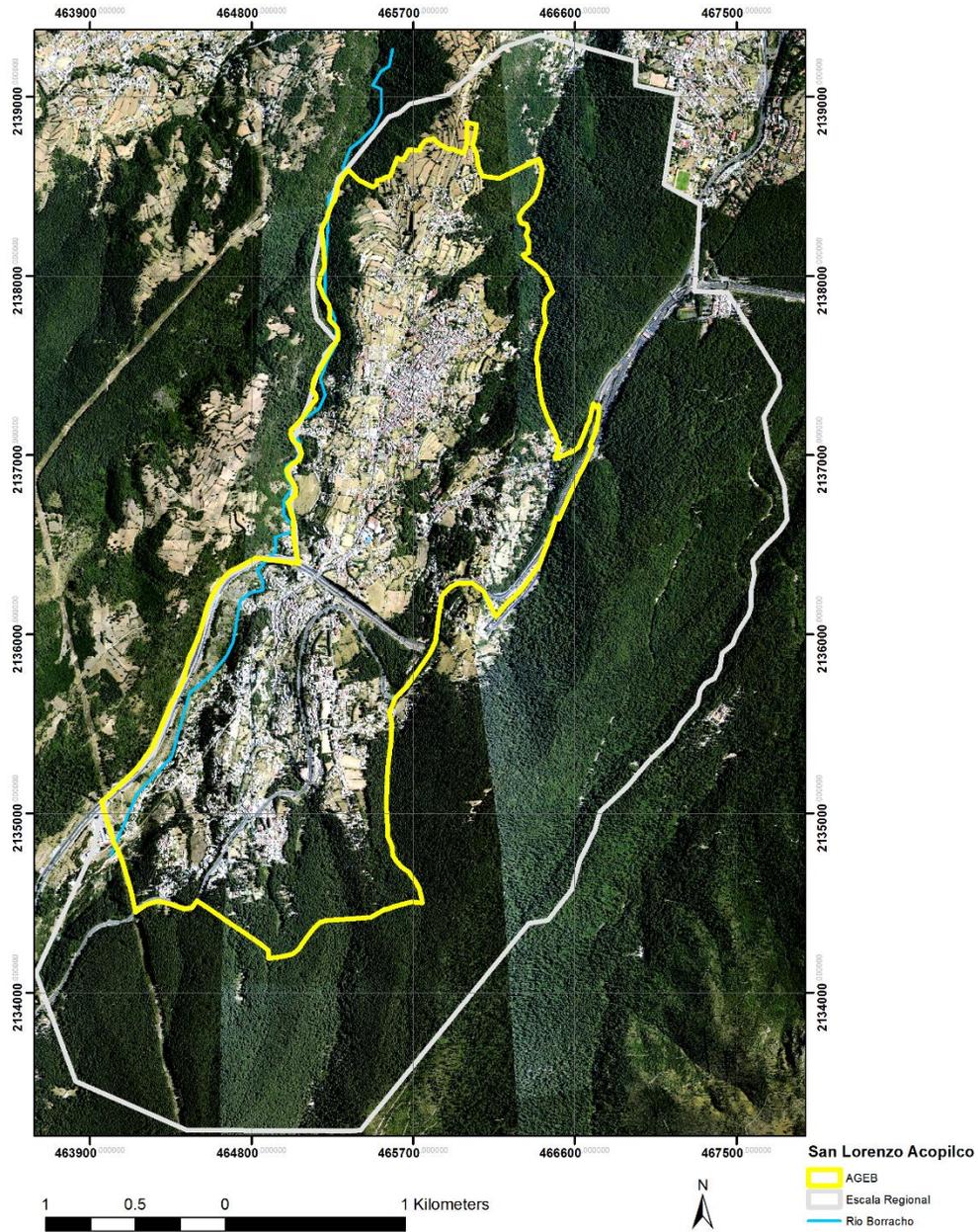


Figura 3. Imagen aérea del 2010, muestra el poblado de SLA, los límites de la escala regional y el AGEB.

3.2 Características ambientales de la zona de estudio

Es importante señalar las características ambientales de esta zona de estudio. Por un lado, de acuerdo con la PAOT (PAOT 2012), la zona se ubica en la microcuenca del Río Borracho y cuenta con áreas de alto valor ambiental. Presenta una precipitación media anual entre 1,200 y 1,400 mm (PAOT 2012:10). El tipo de suelo es *Andosol humico* lo que significa que son suelos muy susceptibles a la erosión y presentan una capacidad de infiltración media. Aunque por otro lado, la aptitud de infiltración se clasifica entre media y alta (PAOT 2012:56), lo que es una forma de inferir la recarga del acuífero. En esta zona de estudio también se ubican áreas que son de alta prioridad para la conservación de ecosistemas y biodiversidad (PAOT 2010: 61). Así mismo, cuenta con importantes áreas de almacenamiento de carbono (bosques de oyamel y pino), lo que señala su importancia ambiental para la CDMX (PAOT 2010: 63).

Con respecto a la cobertura forestal de la zona de estudio que concierne a esta investigación, un estudio realizado por la PAOT y el CentroGeo en el año 2010 elaboró un modelo de análisis tendencial de pérdida de la cobertura forestal en el suelo de conservación del Distrito Federal (PAOT_centroGeo 2010), en donde se utiliza un Índice de Cobertura Forestal¹⁸ IFC, el cual resulto para SLA entre 50-70 lo cual indica que existe un área con un valor forestal importante.

En relación a su topografía, la zona de estudio es muy accidentada y con diversas barrancas y pendientes muy pronunciadas. La figura 4 nos muestra la ubicación de el área sellada en el año 2010 sobre el Model Digital de Elevacion (MDE) y podemos observar las diferentes elevaciones topográficas de la zona.

¹⁸El Índice de Cobertura Forestal se obtiene a partir de la información espectral obtenida de imágenes de satélite provenientes de diferentes sensores, se expresa en porcentajes siendo los valores mayores al 70% los que corresponden a bosques densos y continuos (PAOT 2010: 68).

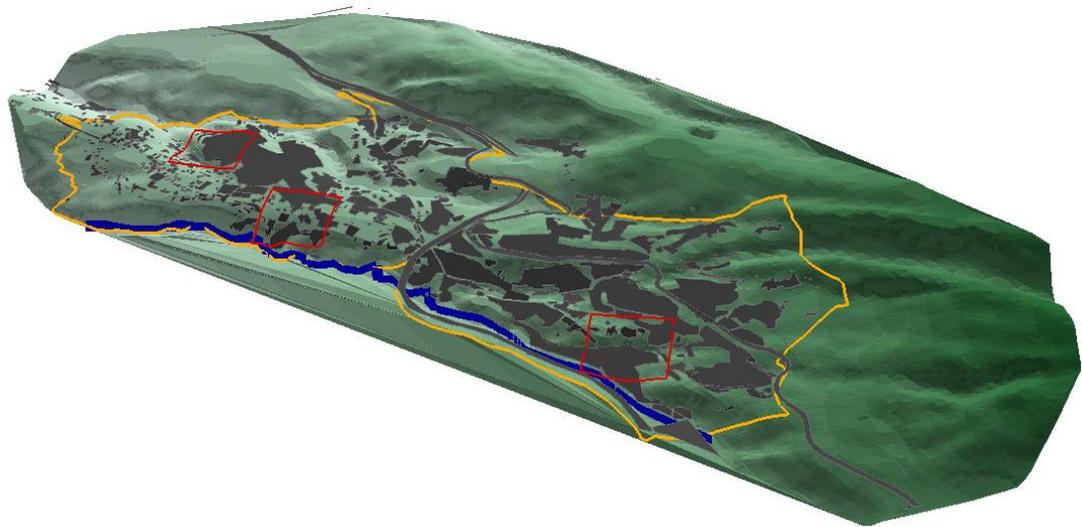


Figura 4. Perspectiva del Modelo Digital de Elevación (MDE) de San Lorenzo Acopilco. Las áreas en color negro señalan el área sellada en 2010. La línea amarilla señala límite AGEB. Los cuadros rojos señalan los casos de estudio y la línea azul señala el cauce del río Borracho. Fuente: Modificado de MDE (INEGI, 2010).

La figura 5 muestra el mapa de pendientes obtenido a partir del MDE, podemos observar que en la mayoría del territorio existen pendientes pronunciadas de entre 5%, 15% y 50%. Existen muy pocas áreas con pendientes moderadas (en verde) entre 0% y 5%

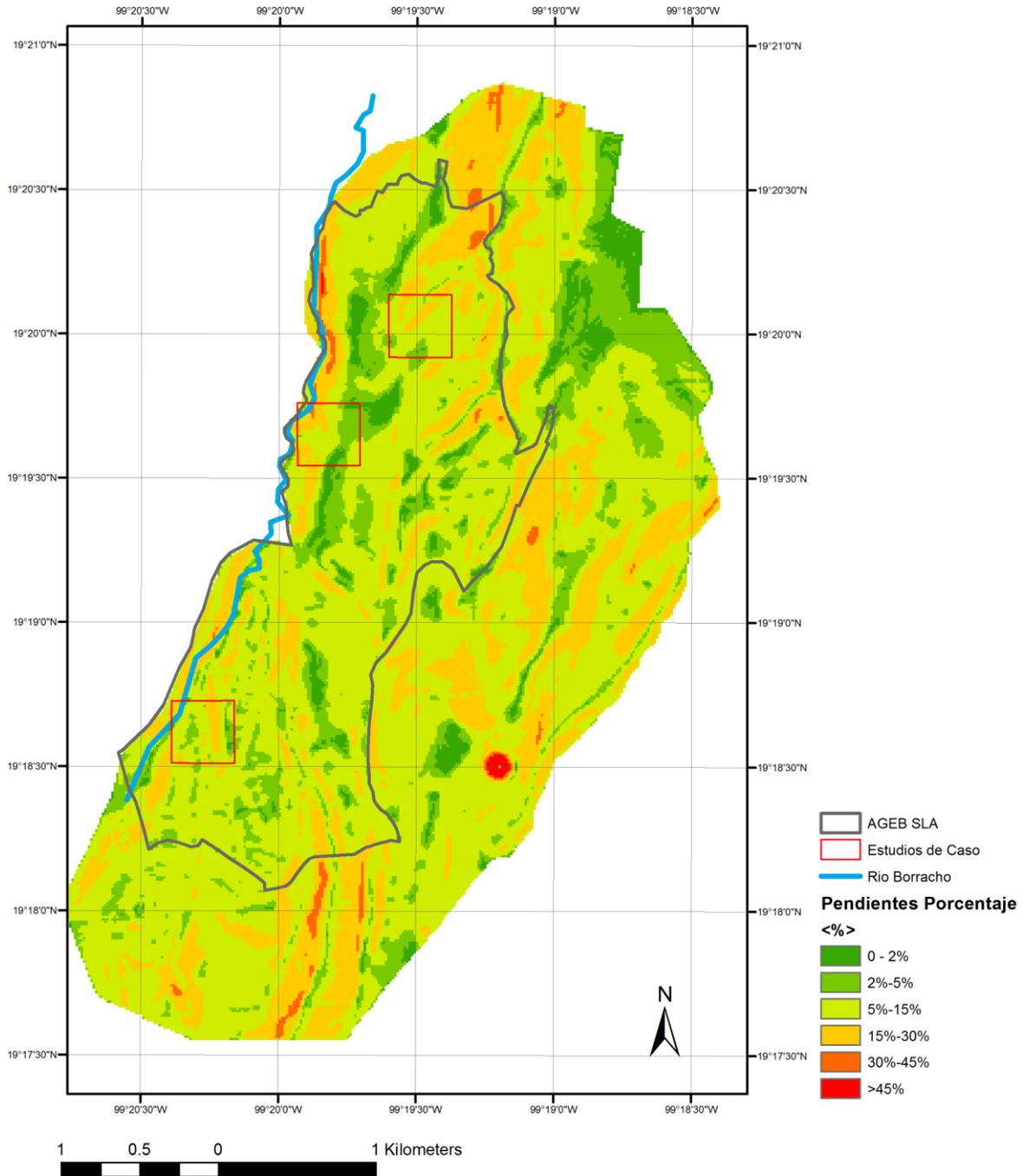


Figura 5. Análisis de pendientes. Elaboración propia con base en el MDE (INEGI 2010).

Por otro lado, la figura 6 muestra el mapa de usos de suelo y vegetación del año 2010. En negro se señala el área urbanizada hasta el año 2010, la cual se calculó de 240.86 hectáreas con base en una fotografía aérea del 2010.

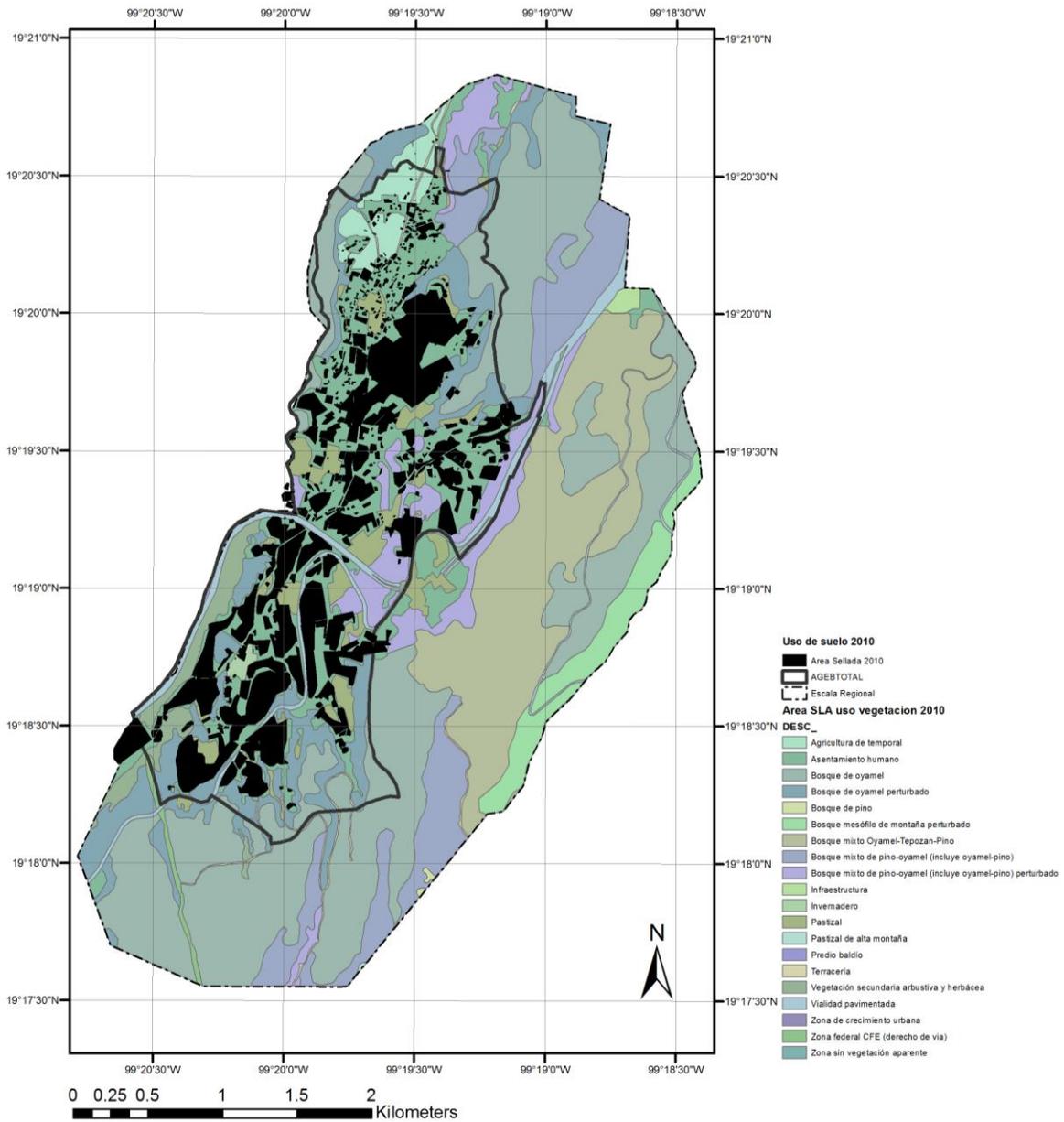


Figura 6. Mapa de uso de suelo y vegetación 2010. Elaboración propia con base en cartografía de la PAOT (2010).

Es importante mencionar que con respecto al área que señala la PAOT como asentamiento humano y al área urbanizada que se obtuvo a partir de la fotografía aérea del 2010, existe una diferencia de 135.09 hectáreas. Lo anterior se debe a que el área urbanizada seleccionada a partir de la fotografía 2010 se obtuvo a partir del trazo de polígonos que señalan las áreas construidas a detalle, lo que permite obtener el área precisa de los asentamientos, además de mostrar el carácter disperso de la expansión urbana, mientras que en el mapa de la PAOT es una selección más general y menos elaborada.

Por otro lado, la PAOT realizó una categorización muy exhaustiva respecto a los usos de suelo de bosque y agrícola en el área de estudio (ver tabla 8), para el año 2010 por lo que se ha decidido reagrupar las categorías de uso de suelo de la siguiente forma:

La categoría de **Cubierta Forestal** incluye las siguientes sub-categorías del mapa de la PAOT.

Tabla 8. Categorías de bosque incluidas en la cubierta forestal 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010)

Cubierta Forestal
Bosque de pino
Bosque mixto de pino-oyamel (incluye oyamel-pino)
Bosque mixto de pino-oyamel (incluye oyamel-pino) perturbado
Bosque de oyamel
Bosque de oyamel perturbado
Bosque mesófilo de montaña perturbado
Pastizal de alta montaña
Bosque mixto Oyamel-Tepozan-Pino

En categoría de **infraestructura/caminos** se agruparon los siguientes componentes (Tabla 9) los cuales quedaron en la categoría de área sellada.

Tabla 9. Categorías de uso de suelo incluidas en el área sellada 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010).

INFRAESTRUCTURA/CAMINOS
Terracería
Vialidad pavimentada
Infraestructura
Zona federal CFE (derecho de vía)

Con respecto a la categoría **Agrícola/otros**, se decidió incluir los siguientes tipos (Tabla 10):

Tabla 10. Categorías de uso de suelo Agrícola /otros, incluido en el área agrícola 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010)

AGRIGOLA/OTROS
Agricultura de temporal
Invernadero
Pastizal
Vegetación secundaria arbustiva y herbácea
Predio baldío

En el caso de la categoría referente al área sellada, se tomaron los datos de la realización propia obtenidos a partir de la fotografías aérea 2010, y la diferencia obtenida que se mencionaba anteriormente se sumó a la categoría de área de uso agrícola/otros.

A partir de la agrupación realizada y la re elaboración de la tabla de datos, con datos propios y de la PAOT, se obtuvo la siguiente tabla de uso de suelo para el los años 1990, 2000 y 2010 con datos referentes al área urbanizada, área de cubierta forestal y área agrícola a esta escala de trabajo 1: 15,000 (tabla 11). Los siguientes datos se obtuvieron a partir de fotos áreas de dichos años y de la elaboración de polígonos en un sistema de información geográfica (sig-ArcGis) mediante un modelo vectorial.

Tabla 10.

Tabla 11. Uso de suelo en SLA en relación con el tiempo del periodo de estudio

Año	1989		1999		2010	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Área sellada	96.01	6.64	162.11	11.22	240.86	16.66
Área agricultura	332.1	22.98	283.85	19.64	254.09	17.58
Cubierta Forestal	1017.3	70.38	999.45	69.15	950.46	65.76
Total (ha)	1445.41	100	1445.41	100	1445.41	100

La siguiente gráfica (figura 7) nos muestra la tendencia de disminución en hectáreas del área de cubierta forestal y del área agrícola, mientras que el área urbana va en aumento en relación con el tiempo.

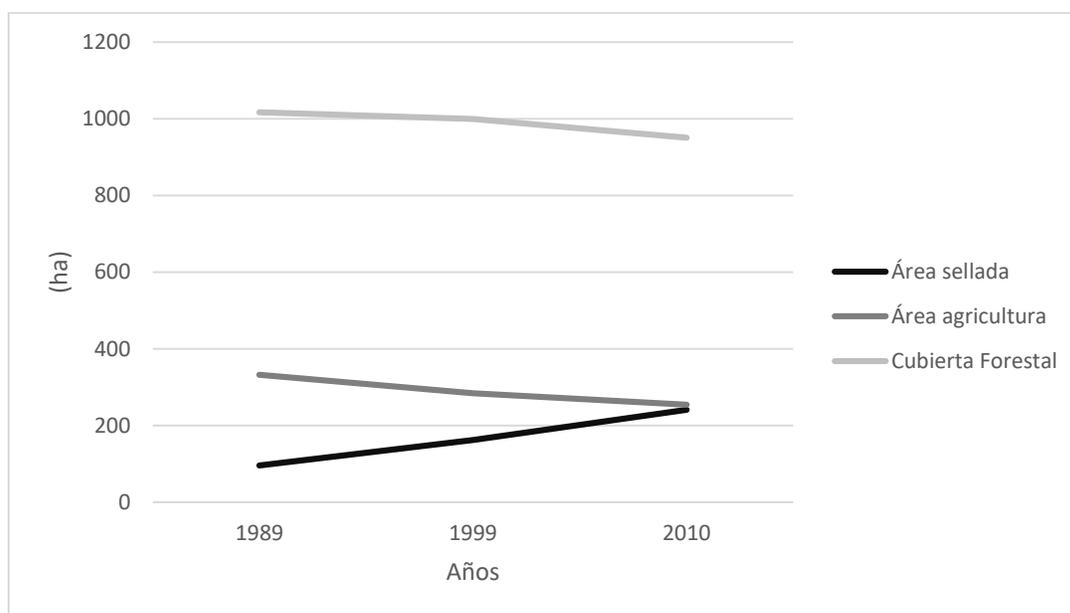


Figura 7. Gráfica que muestra los datos de las áreas urbana, agrícola y cubierta forestal en los años de estudio 1990, 2000 y 2010.

3.3 Cambios de uso de suelo escala regional

En cuanto al análisis de cambio de uso de suelo, se obtuvieron matrices de cambio de uso de suelo para los periodos 1989-2000, 2000-2010 y para el periodo total que abarca de 1989 a 2010 en donde se pueden observar las pérdidas, permanencias y ganancias de áreas entre categorías. La forma en que se hace la lectura es la siguiente; por ejemplo, la tabla 12 arroja los resultados del cruce entre 1989 y 1999. Los datos del año 1989 se leen como líneas en donde la suma total de hectáreas es en las celdas del lado derecho; y los datos del año 1999 se leen como columna arrojando el resultado total en las celdas de abajo. La diagonal principal muestra la cantidad total de paisaje o área estable entre una fecha y otra mientras que las demás muestran las transiciones. De este modo, de las 1017.37ha. de cubierta forestal existentes en el año de 1989, 10.61 ha. se transformaron en área urbanizada, 7.32 ha. se transformaron a área agrícola y 999.45 ha. no tuvieron cambios. De las 332.28 ha. de área agrícola en el año 1989, 53.81 ha. se transformaron a área urbana, y para el año 1999 permanecen 278.47 ha. de área agrícola, quedando así un total de 159.11 ha. de área urbanizada para el año 1999. Adicional a las matrices de cambio de uso de suelo, se elaboraron esquemas de cambio o de transición de uso de suelo para cada periodo a la manera de Velázquez (2010) (figuras 8, 9 y 10).

Tabla 12. Matriz de cambio de uso de suelo de SLA periodo de 1989-1999.

Matriz de cambio de uso de suelo de SLA periodo de 1989-1999		1999			
		Área sellada	Área agrícola	Cubierta Forestal	TOTAL (ha)
1989	Área sellada	94.69	1.33	0.00	96.02
	Área agrícola	53.81	278.47	0.00	332.28
	Cubierta forestal	10.61	7.32	999.45	1017.37
	Total (ha)	159.11	287.12	999.45	1445.67

Para el mismo periodo de 1989-1999, se obtuvo el porcentaje de cambio de uso suelo entre categorías. La tabla 13 muestra el porcentaje de cambio de uso de suelo entre categorías, de tal forma que se observa que el 69.13% del territorio a la escala regional, se mantiene de cubierta forestal. Los cambios más significativos son entre las categorías de Agrícola a

urbano con un 3.72% y de cubierta forestal a urbano con 0.73%. La figura 8 muestra, a la manera de Velázquez (2010), la red de cambios entre categorías de uso de suelo para el periodo 1989-1999.

Tabla 13. Porcentajes de cambio de uso de suelo en el periodo 1989-1999.

Porcentaje	Cambios
69.13	Se mantuvo Cubierta Forestal
19.26	Se mantuvo Agrícola
6.55	Se mantuvo urbano
3.72	De Agrícola a urbano
0.73	De Cubierta Forestal a Urbano
0.51	De Cubierta Forestal a Agrícola
0.09	De Urbano a Agrícola

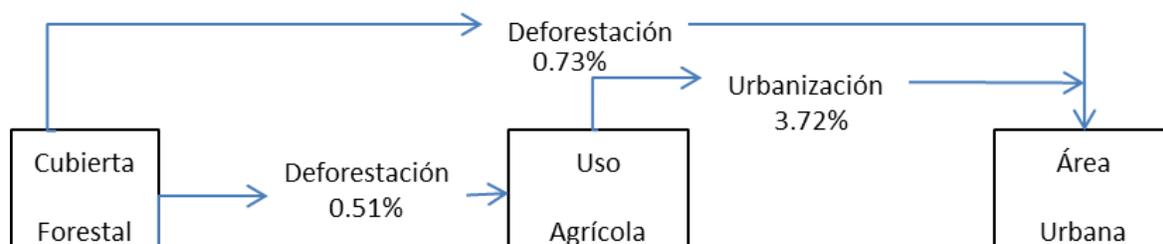


Figura 8. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1989-1999. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala regional 1:15,000.

La tabla 14 muestra la matriz de cambio para el segundo periodo de estudio que abarca de 1999 a 2010. En este periodo se observa que de las 999.26 ha de cubierta forestal en 1999, 30.64 ha. se convirtieron en área agrícola y 29.34 ha. se convirtieron área sellada. Mientras que de las 287.07 ha. de área agrícola existentes en 1999, 57.53 ha. se convirtieron a área sellada y 10.12 ha. se convirtieron a cubierta forestal, es decir hubo una pequeña reforestación. La figura 9 muestra la red de cambios de uso de suelo para el periodo 1999-2010. En ésta se puede observar 2.12% de cubierta forestal pasó a área agrícola y 2.03% pasó de cubierta forestal a área urbana, mientras que un 3.098% se convirtió de área agrícola a área

urbana. Cabe recalcar que los porcentajes son en relación al total de área de la escala de estudio regional.

Tabla 14. Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1999-2010.

Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1999-2010		2010			
		Area sellada	Área agrícola	Cubierta Forestal	Total (ha)
1999	Área sellada	154.37	4.48	0.87	159.08
	Área agrícola	57.53	213.34	10.12	287.07
	Cubierta Forestal	29.34	30.64	944.72	999.26
	Total (ha)	241.24	248.47	955.71	1445.41

La tabla 15 muestra el porcentaje de cambio de uso de suelo entre categorías para el periodo de 1999 a 2010. Para este periodo, los cambios más significativos fueron de agrícola a urbano con un 3.98% del territorio de estudio y de cubierta forestal a urbano con un 2.03%.

Tabla 15. Porcentaje de cambio de uso de suelo 1999-2010.

Porcentaje	Cambio
65.36	Se mantuvo Cubierta Forestal
0.70	De Agrícola a Cubierta Forestal
0.06	De Urbano a Cubierta Forestal
2.12	De Cubierta Forestal a Agrícola
14.76	Se mantuvo Agrícola
0.31	De Urbano a agrícola
2.03	De Cubierta Forestal a Urbano
3.98	De Agrícola a Urbano
10.68	Se mantuvo Urbano

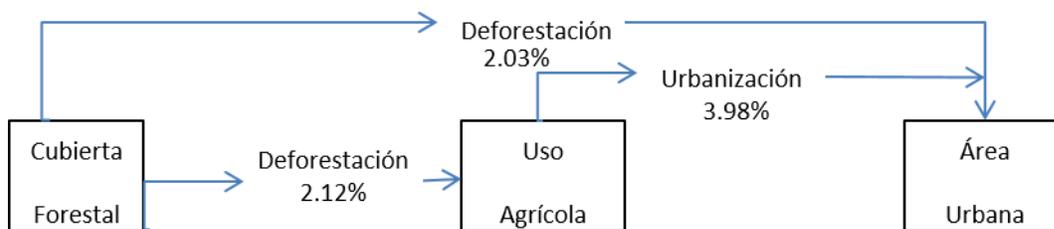


Figura 9. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1999-2010. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala de corte ambiental 1:15,000.

La matriz de cambio para el periodo 1989-2010 (Tabla 16) muestra las ganancias, pérdidas y permanencias de hectáreas de uso de suelo por categoría en todo el periodo de estudio, es por ello la matriz de cambio más importante. En ésta, podemos observar que de las 1016.98 ha. de cubierta forestal existentes en 1989, 39.02 ha. se convirtieron en área sellada y 37.71 ha. se convirtieron en área agrícola, mientras que 940.40 ha. permanecieron como cubierta forestal para el año 2010. De las 332.23 ha. de área agrícola, 107.13 ha. se transformaron en área sellada y 10.092 en cubierta forestal.

Tabla 16. Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1989-2010.

Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1989-2010		2010			
		Área sellada	Área agrícola	Cubierta Forestal	TOTAL (ha)
1989	Área sellada	94.475	1.4706	0.0634	96.009
	Área agrícola	107.138	215.003	10.092	332.233
	Cubierta Forestal	39.023	37.711	940.252	1016.986
	Total (ha)	240.636	254.1846	950.4074	1445.22

La tabla 17 muestra el porcentaje de cambio de uso suelo por categoría para el periodo total de estudio que abarca de 1989 a 2010. De tal manera que podemos observar que los cambios más significativos son de agrícola a urbano con 7.41% del territorio, 2.7 % de cubierta forestal a urbano y 2.6% de cubierta forestal a agrícola. La figura 7 muestra la red de cambios en este periodo. Dado el polígono de estudio, delimitado por características ambientales y geomorfológicas, así como por el polígono AGEB, el porcentaje de cubierta forestal es alto, representando un 65% del territorio que se mantuvo sin cambios para el año 2010. El 14%

del territorio se mantuvo Agrícola sin cambios. Mientras que el 6.53% se mantuvo urbano sin cambios. La figura 10 muestra la red de cambio de uso de suelo entre las categorías para el periodo total de estudio.

Tabla 17. Porcentaje de Cambio en el periodo total de estudio (1989-2010) a escala regional.

Porcentaje	Cambio
6.54	Se mantuvo Urbano
7.41	De Agrícola a Urbano
2.70	De Cubierta Forestal a Urbano
0.10	De Urbano a Agrícola
14.88	Se mantuvo Agrícola
2.61	De Cubierta Forestal a Agrícola
0.00	De Urbano a Cubierta Forestal
0.70	De Agrícola a Cubierta Forestal
65.06	Se mantuvo Cubierta Forestal

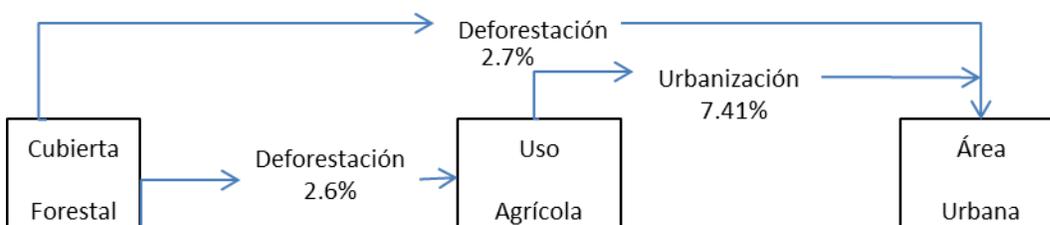


Figura 10. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1989-2010. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala de corte regional.

La figura 11 muestra sobre el territorio de estudio los cambios producidos entre las categorías de análisis de usos de suelo.

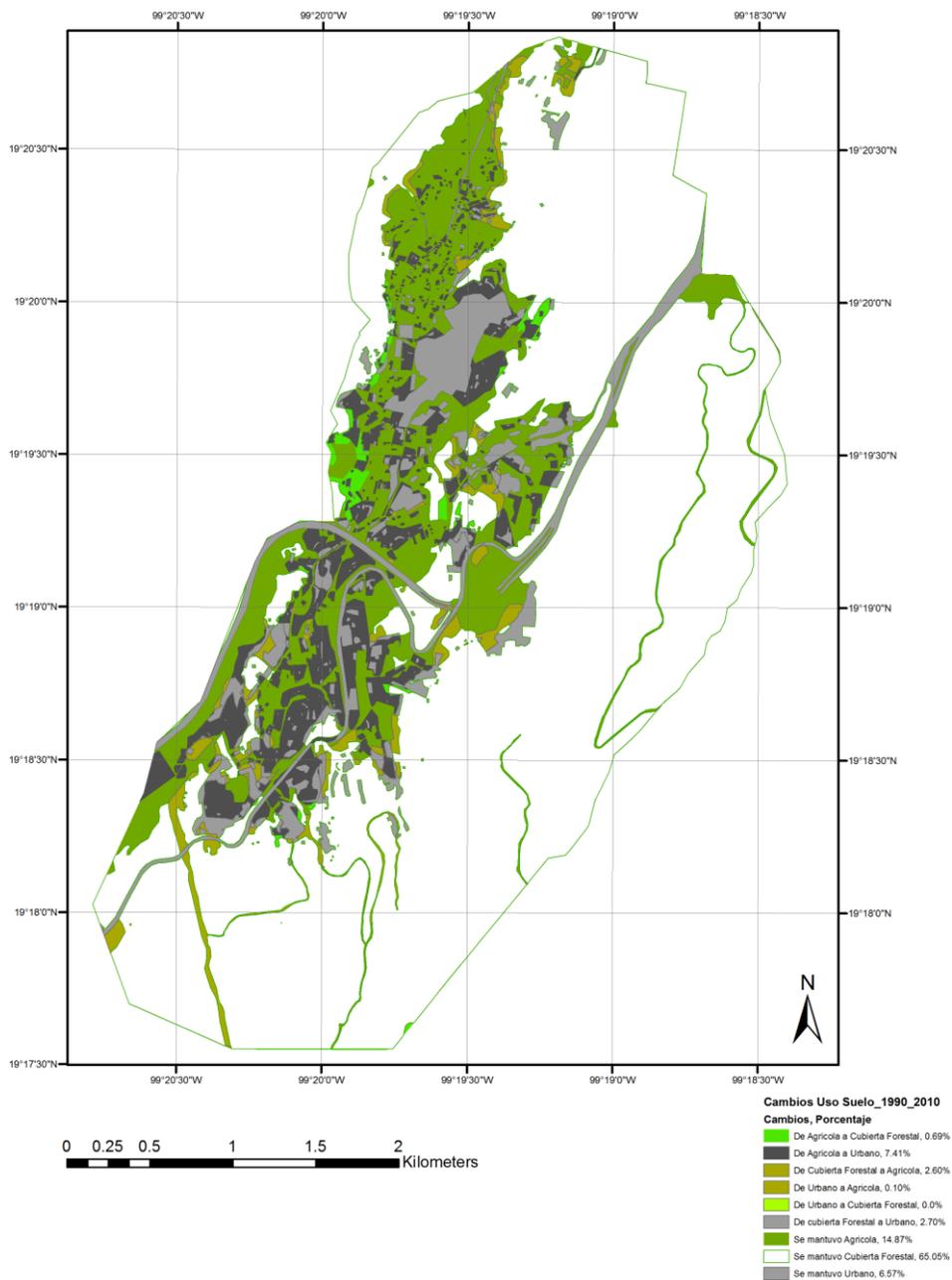


Figura 11. Mapa de cambios de uso de suelo 1989-2010.

3.4 Tasas de cambio. Escala regional.

Como se menciona en la metodología, para estimar la tasa anual de cambio en los periodos de estudio 1990 a 2000 y 2000 a 2010, se utilizó la fórmula desarrollada por Puyravaud (2002). Se realizó el cálculo para todas las coberturas de suelo; área urbanizada, área agrícola y área forestal (tabla 18). Con el fin de obtener la tasa de deforestación se utilizaron los datos referentes al área de la cubierta forestal y para el periodo de 1990 a 2000 se calculó una tasa de cambio negativa de -0.0032 ha/año, mientras que para el periodo del 2000 al 2010 también se obtuvo una tasa de cambio negativa con valor de -0.0077 ha/año lo que indica que hubo una pérdida de cubierta forestal. En relación al área agrícola también se obtuvieron valores negativos, mientras que el área urbana obtuvo valores positivos lo que indica ganancia en esa categoría (ver tabla 8).

Tabla 18. Tasas de cambio. Escala regional.

Periodo	1989-1999		1999-2010		1989-2010	
	r	ha/año	r	ha/año	r	ha/año
Área sellada	0.053	12.68	0.039	9.48	0.045	11.08
Área Agricultura	-0.015	-4.04	-0.010	-2.78	-0.013	-3.41
Cubierta Forestal	-0.001	-1.69	-0.005	-4.78	-0.003	-3.24

3.5 Tendencia de cambio de uso de suelo utilizando matrices de Markov. Escala regional

Se realizó una matriz de transición basado en las categorías de suelo utilizadas y la información obtenida del análisis de los cambios de uso suelo a partir de las fotografías aéreas de 1989 y 2010. Se utilizó un modelo de Markov para crear probabilidades de transición de usos de suelo. La tabla 19 muestra la matriz de Markov para los años 189-2010 e indica que la cubierta forestal y el área agrícola son las categorías más estables con probabilidades de transición de 0.997 y 0.800 respectivamente mantenerse en la misma clase. Sin embargo,

estas categorías atraen el área sellada, especialmente el área agrícola con un 0.20 % de cambio a área urbana.

Tabla 19. Matriz de Markov periodo 1989-2010.

Matriz de Markov periodo 1989-2010		2010		
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal
1989	Área sellada	1.000	0.000	0.000
	Área agricultura	0.199	0.800	0.002
	Cubierta Forestal	0.002	0.002	0.997

3.6 Tendencia de crecimiento usando regresión lineal. Escala regional

Basado en los datos obtenidos en relación al área de los usos de suelo y cubierta forestal en los periodos de 1990, 2000 y 2010, se realizaron unas gráficas de tendencia hacia el año 2020. En la figura 12, se muestran las gráficas de tendencia en donde se observa un claro aumento en el área urbanizada a expensas del área agrícola. Mientras que el área forestal disminuye en menor medida. De continuar esta tendencia de disminución en el área agrícola, ésta desaparecerá por completo, convirtiéndose en área urbanizada. La cubierta forestal disminuye a un ritmo menor, sin embargo la tendencia es clara, lo que implica a su vez disminución de los servicios eco sistémicos que proveen estas áreas hacia la ciudad.

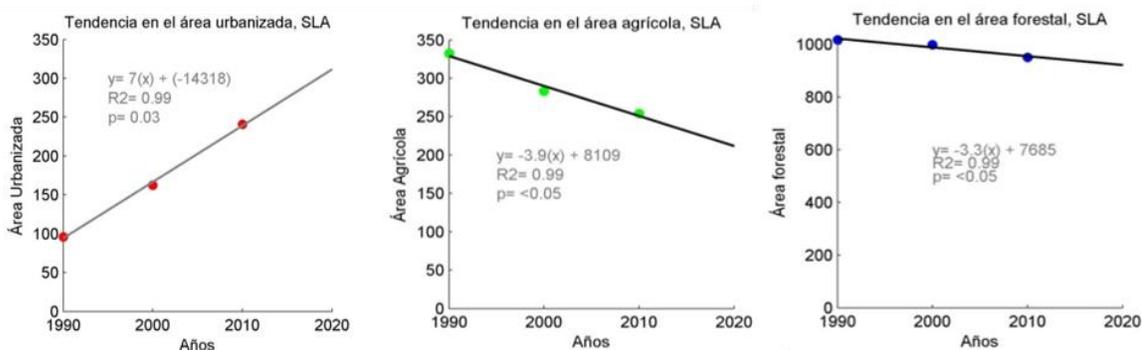


Figura 12. Gráficas de tendencia al año 2020 del cambio en las áreas de usos de suelo a escala regional.

3.7 Expansión urbana de SLA en los años 1989, 1999 y 2010

A continuación se muestra un mapa y datos referentes a la expansión urbana de SLA en los años 1989, 1999 y 2010 (figura 13). Dicho mapa fue elaborado a partir de las fotografías aéreas de dichos años. El área construida de cada década se obtuvo a partir de la generación de polígonos sobre las fotografías aéreas en el SIG *ArcGis*.

El mapa nos muestra cómo ha sido la expansión de SLA. Para 1989 se expande el área del casco urbano del poblado y empiezan a establecerse pequeños asentamientos de manera dispersa dentro de la parte agrícola y en menor medida en la parte forestal. Para el año 2000 empieza a ser notoria la expansión de asentamientos hacia la parte sur del poblado y de manera más agrupada. Y para 2010 podemos observar como se ha expandido en mayor medida hacia el sur y de manera dispersa sobre el suelo agrícola en general, así como la existencia de un aumento en el número de asentamientos en la parte forestal.

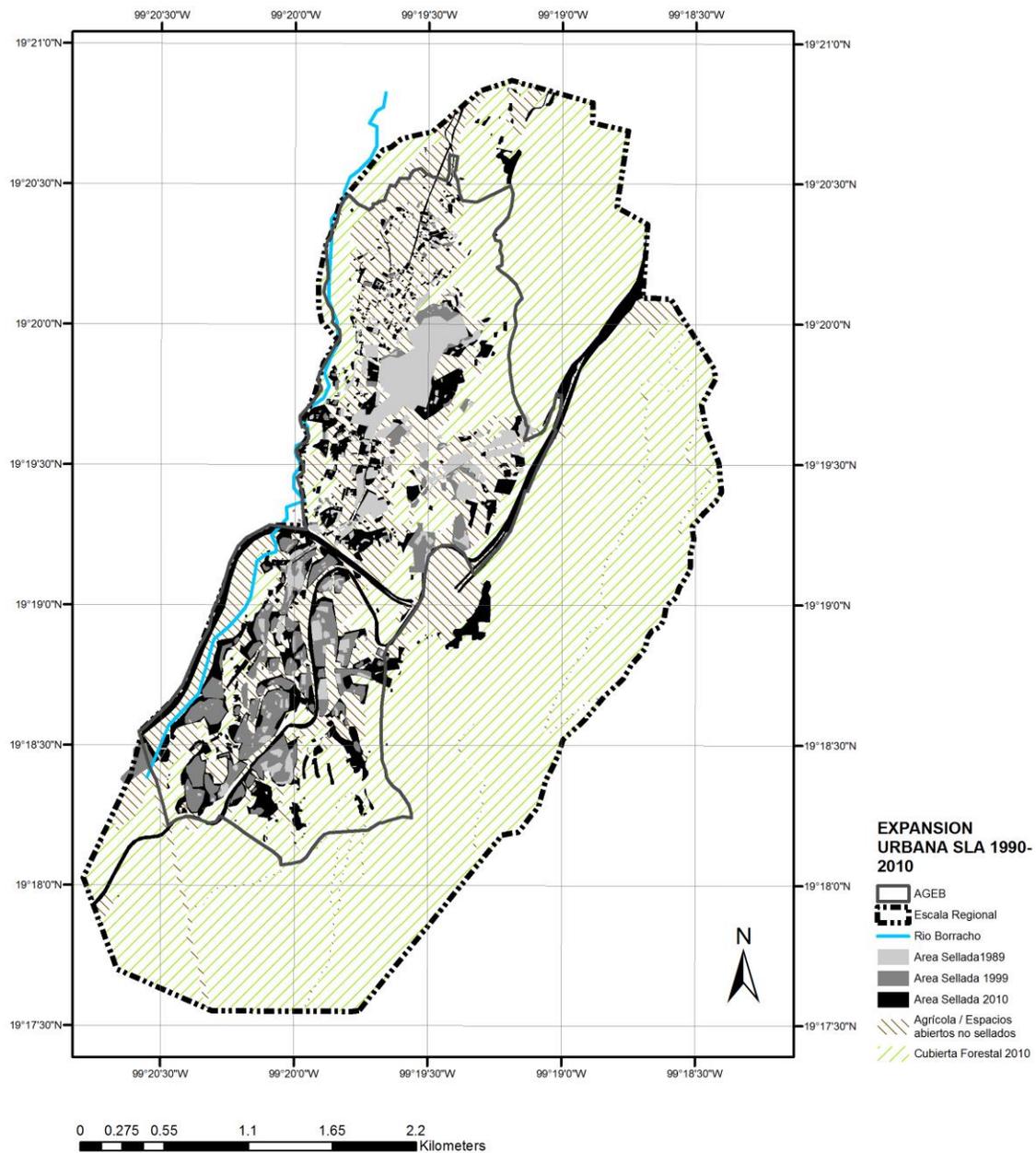


Figura 13. Mapa que señala la expansión urbana SLA en los años de 1989, 1999 y 2010. Fuente:

A continuación, se relacionan los datos obtenidos a partir del mapa con el número de viviendas construidas, el número de habitantes y la densidad de población (Tabla 20). Lo que nos brinda un panorama del proceso de expansión urbana de SLA y su relación con el aumento de población.

Tabla 20. Expansión urbana de SLA.

Años	Población(Hab)	Viviendas	Área Sellada (ha)	Densidad(Hab/ha)
1990	6621	1276	96.02	68.95
2000	17138	3728	162.52	105.45
2010	23037	6024	240.86	95.64

Fuente: Datos de población INEGI y áreas cálculos propios

La siguiente gráfica (figura 14) muestra el aumento del área urbanizada en relación con el tiempo

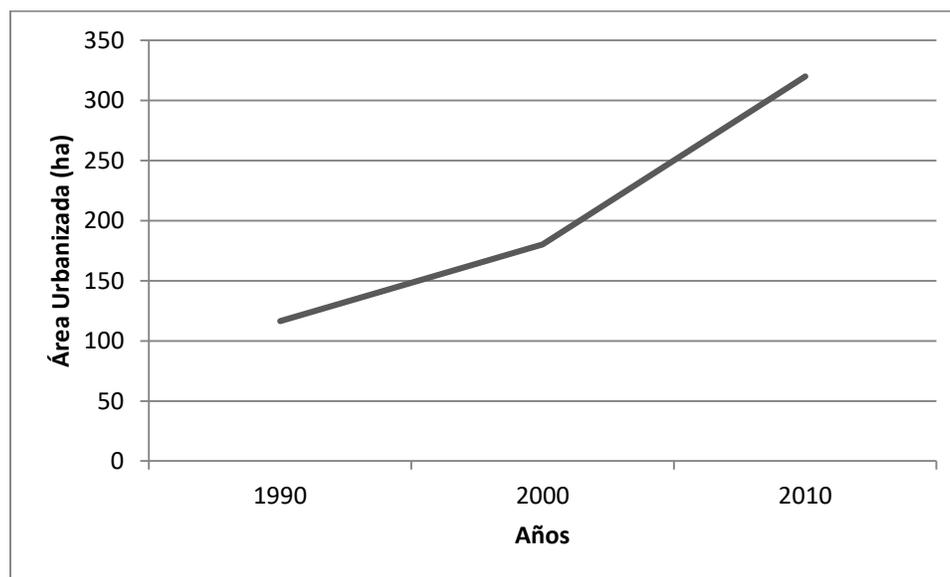


Figura 14. Proceso de urbanización en SLA en las décadas de 1990, 2000 y 2010.

La siguiente gráfica (figura 15) muestra la densidad de población en los años de 1990, 2000 y 2010. La densidad se refiere al número de habitantes en relación a la superficie ocupada durante ese año. Para 1990 se calculó una densidad de 56.86 hab/ha, para el año 2000 se calculó en 95 Hab/ha, mientras que para el año 2010, la densidad de población se calculó en

71.98 hab/ha, lo que demuestra una disminución respecto al año de 2000, lo que indica una expansión urbana dispersa y acelerada.

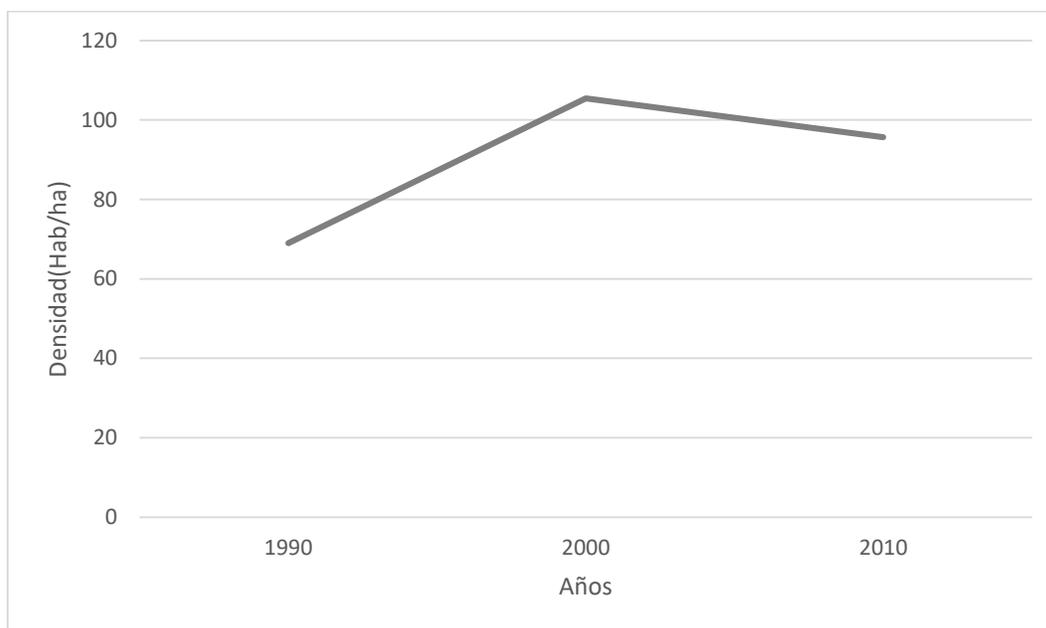


Figura 15. Gráfica de Densidad de Población SLA. Elaboración propia

Por otro lado, también se obtuvieron datos referentes a la relación de hectáreas de bosque por hectáreas de uso urbano (B/U) y hectáreas de bosque por habitante (Bhab) en el período de estudio, considerando todo el territorio de la zona de estudio a la escala regional (ver tabla 21). De esta manera se observa una disminución de 10.59 B/U en 1999 a sólo 3.94 B/U para el año 2010. Mientras que en 1989 existían 0.153 hectáreas de bosque por habitante, para el 2010 baja drásticamente a 0.041 ha/hab.

Tabla 21. Relación de hectáreas de bosque (B) por hectáreas de uso urbano (U) y hectáreas de bosque por habitante (Bhab).

Indicador	1989	1999	2010
BU (ha/ha)	10.59 B/U	6.16 B/U	3.94 B/U
Bhab(ha/hab)	0.153 ha/hab	0.058 ha/hab	0.041 ha/hab

Así mismo, se obtuvo un índice de naturalidad (Velázquez 2010) para la escala regional. Dicho índice, puede ser útil para vislumbrar un umbral de disturbio que puede soportar una cuenca. Velázquez et al., (2010) utilizan dicho índice en el caso de las cuencas de México, las cuencas con un índice menor a 50, son las que han sufrido severas inundaciones o son más susceptibles de sufrir efectos negativos por desastres naturales, mientras las que poseen un índice de 80 señalan un alto índice de naturalidad. Es decir, poseen un alto porcentaje de bosque sin disturbio, por lo tanto, son menos vulnerables a sufrir daños por fenómenos naturales y tienen menor riesgo de presentar efectos negativos por disturbios antrópicos..

Después de realizar los cálculos, el índice de naturalidad obtenido para el año 1989 fue de 70.38, mientras que para el año 2010 se obtuvo un índice de 65.75 (tabla 22), lo que significa que el área de estudio a escala regional posee un medio índice naturalidad, esto probablemente indica una alto umbral de tolerancia hacia disturbios ambientales, sobre todo a inundaciones así como una alta capacidad de infiltración de agua hacia los acuíferos.

Recordemos que un índice menor a 50 significa una cuenca susceptible a catástrofes como inundaciones, deslaves, etc.

También se realizó una proyección del índice de naturalidad al año 2020. La tendencia indica que disminuirá a 63.89 lo que demuestra una tendencia negativa (Figura 16). De continuar esta tendencia, el índice disminuirá aproximadamente a 50 en unos veinte años, lo que sugiere que habrá más susceptibilidad a desastres naturales

Tabla 22. Índice de naturalidad a escala regional.

Año	1989	1999	2010	2020
$I_n = \text{Índice naturalidad}$	70.38	69.33	65.75	63.89

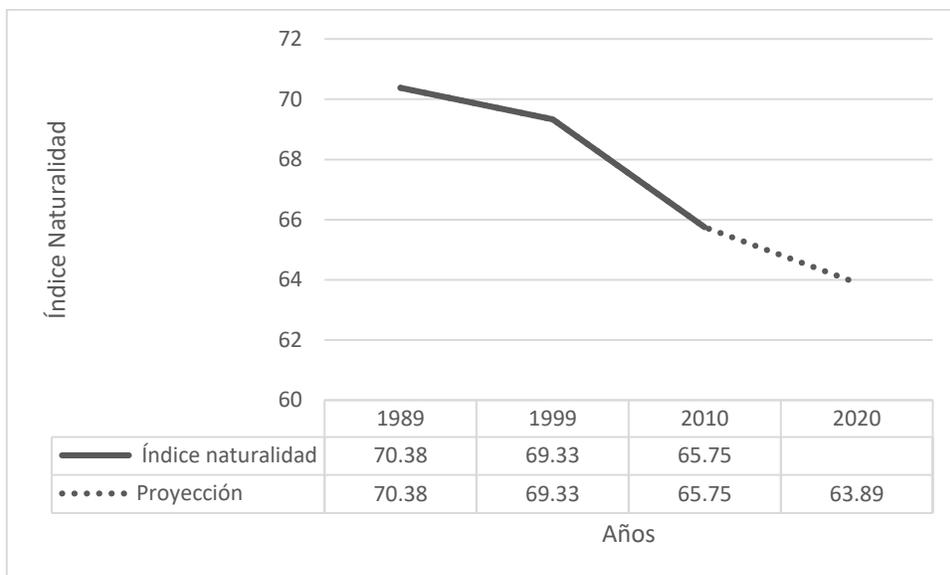


Figura 16. Tendencia de cambio del Índice de naturalidad hacia el año 2020.

3.8 Escala de trabajo Local. Tres casos de estudio

Para el análisis de los estudios de caso se eligieron 3 zonas de 400 x 400 mts. dentro de la zona AGEB de SLA (Figura 17). A partir de la observación de campo y del análisis de las fotografías aéreas de las 3 últimas décadas, se eligieron casos de estudio con características particulares. En algunos casos, las zonas son de diferentes estratos socioeconómicos, en otros, sus etapas de crecimiento o expansión urbana durante las últimas décadas se da en diferentes periodos de tiempo. También se escogieron casos con variaciones en sus características ambientales y/o geomorfológicas. Esto permite identificar y caracterizar las diferencias que existen en cada caso con respecto al deterioro y efecto ambiental de acuerdo tanto por el proceso de urbanización del territorio, como por sus características socioeconómicas y ambientales de la periferia. Cada caso de estudio se enmarca en un cuadro de 400 x 400mts, que corresponde a un área de 16 hectáreas. Si para esta escala geográfica de análisis consideramos el AGEB como el 100% del territorio del poblado de SLA, cada caso de estudio representa el 2.76% de SLA.

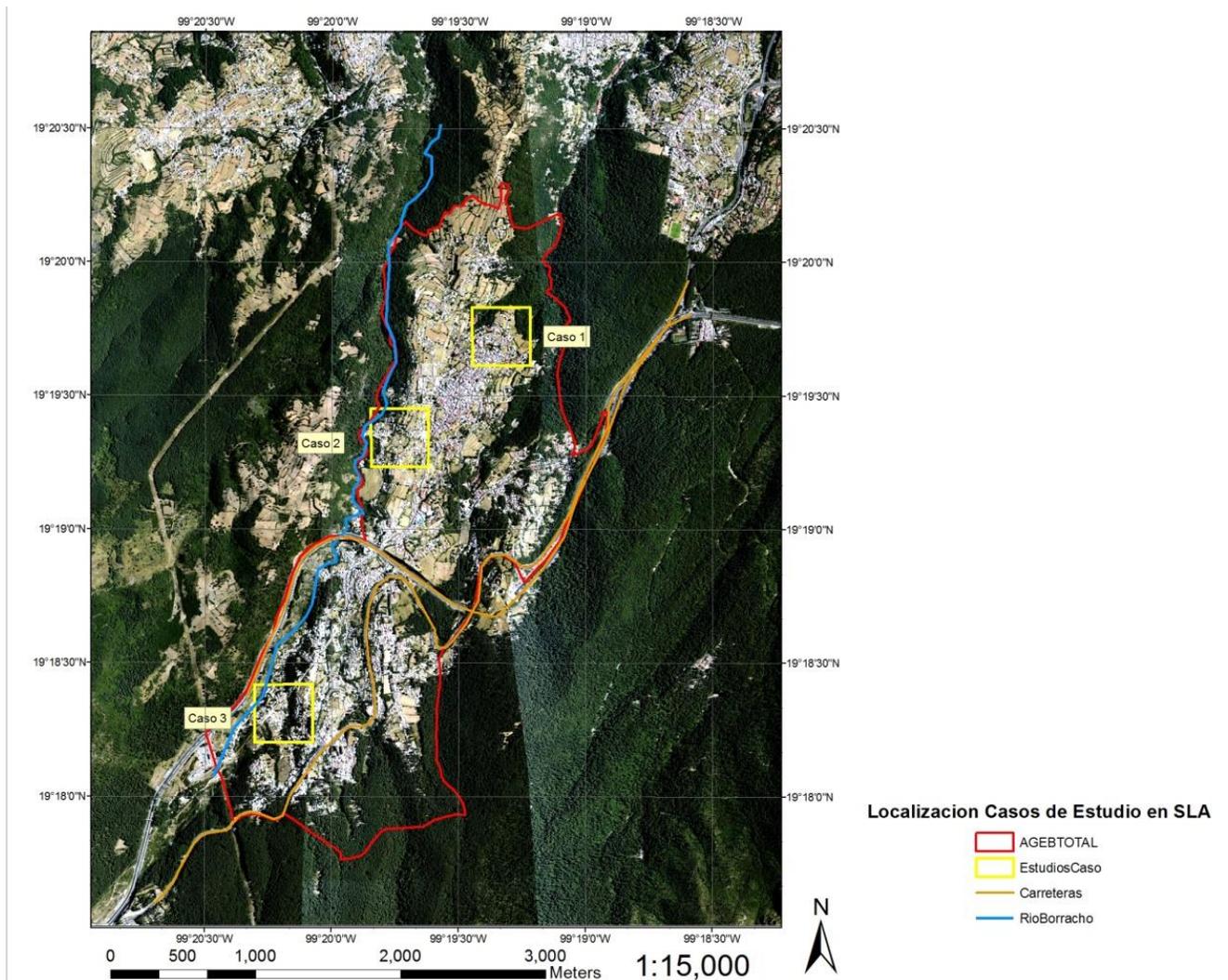


Figura 17. Imagen aérea del 2010 que señala la ubicación de los 3 casos de estudio dentro de SLA.

3.8.1 Caso 1

El caso 1 se ubica en la parte norte de SLA y abarca parte del casco antiguo del poblado, así como una porción de la periferia que colinda con áreas de bosque (Figura 18). Esta zona se caracteriza por tener áreas con alta densidad de población (parte del casco antiguo del pueblo) y tener asentamientos dispersos en la colindancia con el bosque. A partir de la observación de campo, se puede decir que existe una heterogeneidad de estratos socioeconómicos en esta zona, que abarcan desde estratos altos en menor medida, clases medias y medias bajas en su mayoría y sectores bajos. La traza urbana es irregular debido, en parte, a la geografía de la zona. Los predios a medida que se acercan al casco antiguo son de aproximadamente entre 150 y 200 metros cuadrados, mientras más lejos del casco antiguo son de mayores

dimensiones por ejemplo hasta 700 metros cuadrados en algunos casos. La figura 20 muestra una perspectivas fotográficas del casco antiguo del poblado. La figura 21 muestra espacios vacíos que fueron de uso agrícola y que actualmente están en proceso de densificación. Se observa que cuenta con todos los servicios urbanos; luz, pavimentos, y las construcciones aparentan ser de un estrato socioeconómico medio y medio-bajo.

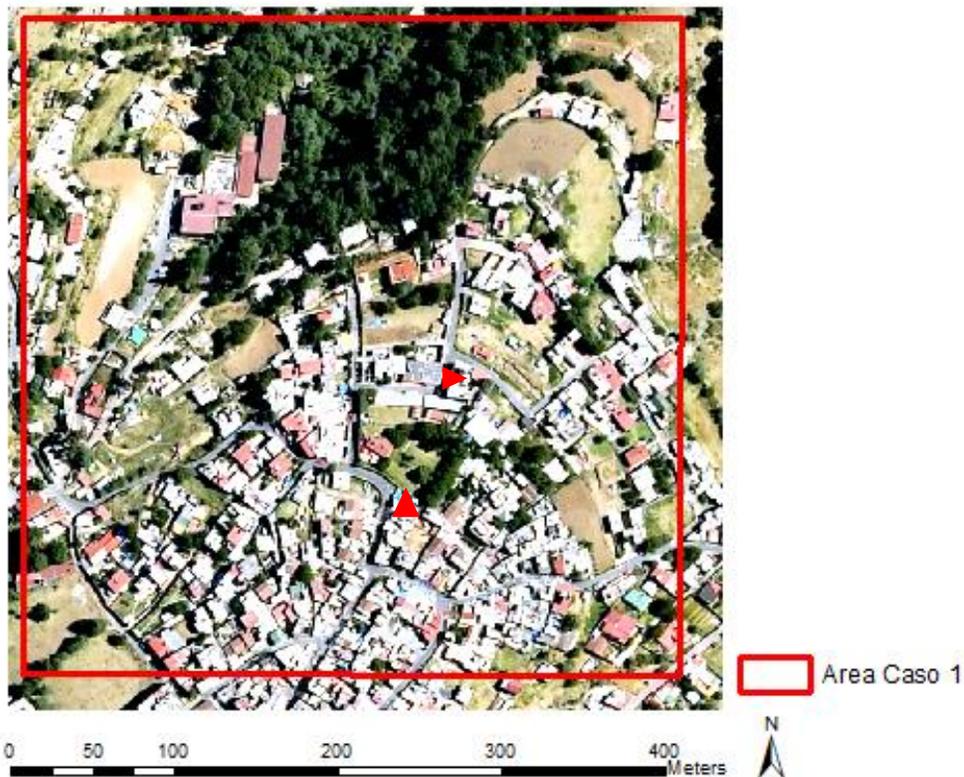


Figura 18. Imagen que señala la zona de estudio del Caso 1.

La tabla 23 nos muestra que el número de viviendas aumentó de 105 en el año de 1989 a 185 en el año 2010, esto quiere decir que el número de viviendas incrementó en un 76%. En la tabla 24 se observan las áreas agrícolas, de bosque y área sellada de la zona del caso 1. En este caso, en el periodo del año 1989 al 2010, el área sellada pasó 45.66% en 1989 a ser el 65.75% del territorio del caso. Mientras que el área agrícola o de espacios abiertos disminuyó de ocupar un 42.17% del territorio a ocupar un 24.16%. La cubierta forestal disminuyó muy poco, pasó de 1.95 ha. existentes en 1989 a 1.62 ha. en 2010.

Tabla 23. Número de viviendas del Caso 1 en las últimas tres décadas.

Año	1990	2000	2010
Número viviendas	105	165	185

Tabla 24. Áreas de uso de suelo del Caso 1 en los años 1989, 1999, 2010.

Area/ Años	1989		1999		2010	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Área sellada	7.31	45.66	9.70	60.63	10.52	65.75
Área agricultura	6.74	42.17	4.65	29.14	3.86	24.16
Cubierta Forestal	1.95	12.17	1.65	10.22	1.62	10.09
Total (ha)	16.00	100.00	16.00	100.00	16.00	100.00

El siguiente mapa señala las áreas de uso del suelo del caso 1 (Figura 19). En verde oscuro el área de bosque, en gris el área sellada en 1989, en verde claro el área agrícola.

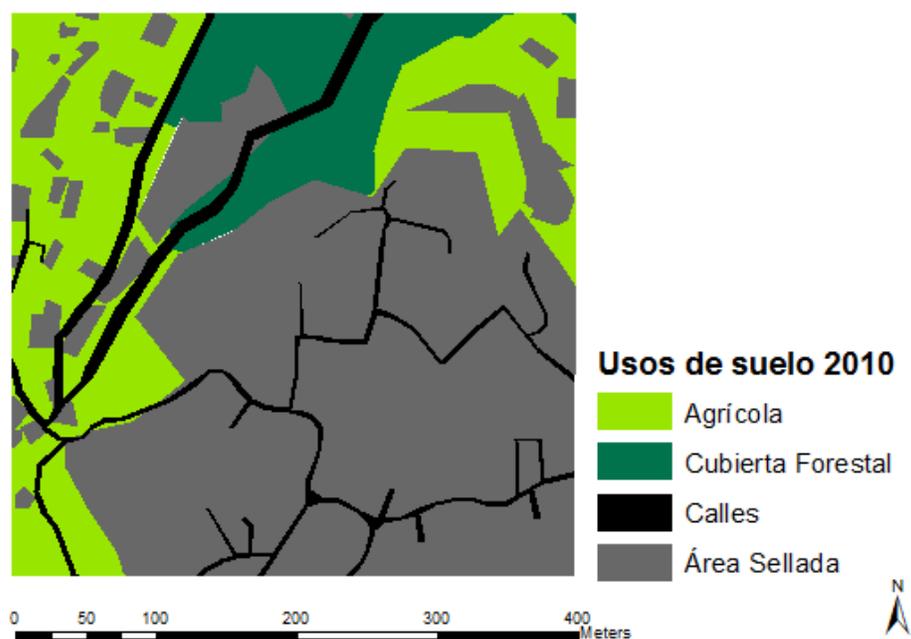


Figura 19. Mapa que señala los usos de suelo del Caso 1 en el año 2010.



Figura 20. Fotografía que nos muestra el contexto urbano del caso 1, cercano al casco antiguo del poblado. Estrato socioeconómico medio y medio-bajo. (Ver referencia en figura 18 ►). Fotografía del autor.



Figura 21. Fotografía del caso 1. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 18 ▲)

Para el caso 1, se obtuvieron las siguientes gráficas (Figura 22), en donde se puede observar en la gráfica de la extrema derecha, que el área de bosque (línea verde) disminuye a través del tiempo, mientras que el área agrícola (línea roja) disminuye y el área urbanizada (línea negra) aumenta. Así mismo, podemos observar que la población, en la gráfica de la extrema izquierda, llega a un límite y disminuye un poco en el año 2000, esto se debe a que es un área semi-consolidada y está ubicada en el caso antiguo del pueblo de SLA. Por otro lado, las viviendas (gráfica de en medio) tienen un aumento importante desde 1990 al 2000, y en este último año disminuye su ritmo de crecimiento, lo anterior se debe al ritmo de crecimiento poblacional, como lo explica la gráfica de población.

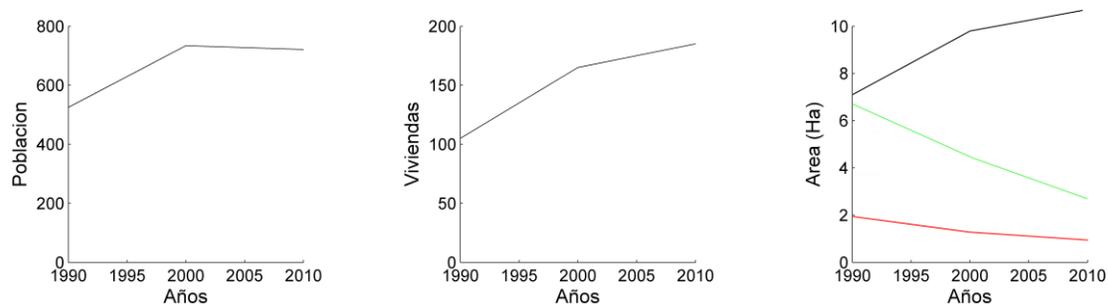


Figura 22. Graficas del caso 1. Muestran la población, el número de viviendas y el cambio de las áreas en relación con el tiempo.

De manera similar en la que se obtuvo un índice de naturalidad para la escala regional, para esta escala de trabajo local también se obtuvo dicho índice con la finalidad de ilustrar el grado de naturalidad y por lo tanto deterioro en los casos de estudio. En este caso, el índice de naturalidad pasa de 12.18 en 1989 a 10.12 en 2010 (Tabla 25), lo cual indica un índice bajo a comparación de cuencas hidrológicas (Velázquez 2010), sin embargo para áreas urbanas se puede considerar nivel medio.

Tabla 25. Índice de naturalidad Caso 1.

Año	1989	1999	2010
$I_n = \text{Índice naturalidad}$	12.18	10.31	10.12

En la tabla 26 podemos observar las tasas de cambio para las diferentes áreas del caso 1. De tal manera que entre 1989 y 1999 la cubierta forestal tuvo una tasa de cambio negativa de -0.016, lo que significa una pérdida de 0.027 ha/año. El área agrícola tuvo la mayor pérdida con una tasa negativa de -0.037, lo que indica una pérdida de -0.143 ha/año. Para el periodo de 1999 al 2010, la cubierta forestal obtuvo una tasa negativa de cambio con -0.001, lo que indica una pérdida de -0.003 ha/año. En el mismo periodo, el área sellada obtuvo una ganancia de -0.085 ha/año y el área agrícola perdió 0.108 ha/año.

Tabla 26. Caso 1. Tasas de cambio del uso de suelo.

Área/Periodo	1989-1999		1999-2010		1989-2010	
	r	ha/año	r	ha/año	r	ha/año
Área sellada	0.028	0.298	0.008	0.085	0.018	0.191
Área Agricultura	-0.037	-0.143	-0.018	-0.072	-0.027	-0.108
Cubierta Forestal	-0.016	-0.027	-0.001	-0.003	-0.009	-0.015

La tabla 27 muestra los resultados del cambio de uso de suelo entre categorías en los años 1989 y 2010. De tal manera que de las 1.95 ha. de cubierta forestal existentes en el año de 1989, 0.27 ha. se convirtieron a área sellada y 0.04 ha. a área agrícola o espacios abiertos, mientras que 1.61 ha permanecieron sin cambios. De las 6.74 ha. de uso agrícola o espacios abiertos existentes en 1989, 2.69 ha. se transformaron en área sellada y para el 2010, 3.82 ha. permanecieron sin cambios. Para el 2010 el área sellada aumentó a 10.52 ha.

Tabla 27. Caso 1. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010.

Caso 1. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010		2010			TOTAL (ha)
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal	
1989	Área sellada	7.31	0	0	7.31
	Área agricultura	2.96	3.82	0.01	6.74
	Cubierta Forestal	0.27	0.04	1.61	1.95
Total (ha)		10.52	3.86	1.62	16.00

La matriz de Markov del periodo 1989-2010 (Tabla 28) indica que el área sellada y la cubierta forestal fueron las clases más estables con 1 y 0.97 probabilidades respectivamente de mantenerse en la misma clase. El área agrícola obtuvo un resultado de 0.375 probabilidades de convertirse en área sellada.

Tabla 28. Caso 1. Matriz de Markov 1989-2010.

Caso 1. Matriz de Markov 1989-2010		2010		
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal
1989	Área sellada	1.000	0.000	0.000
	Área agricultura	0.375	0.625	0.000
	Cubierta Forestal	0.027	0.001	0.972

3.8.2 Caso 2

El caso 2 se ubica en la parte centro-suroeste de SLA. Esta zona se caracteriza por estar cerca de la barranca del río borracho y tener, en parte, asentamientos de manera dispersa. En esta zona también existen diferentes características socioeconómicas, por ejemplo, estratos bajos ubicados en la ladera de la barranca que carecen de servicios urbanos como drenaje, el cual lo vierten directamente hacia el río y en menor medida existen estratos medios ubicados en el resto de la zona. En la figura 23 se puede distinguir la traza urbana irregular y algunas zonas que eran dedicadas al cultivo. En este caso existen zonas que carecen de pavimento.

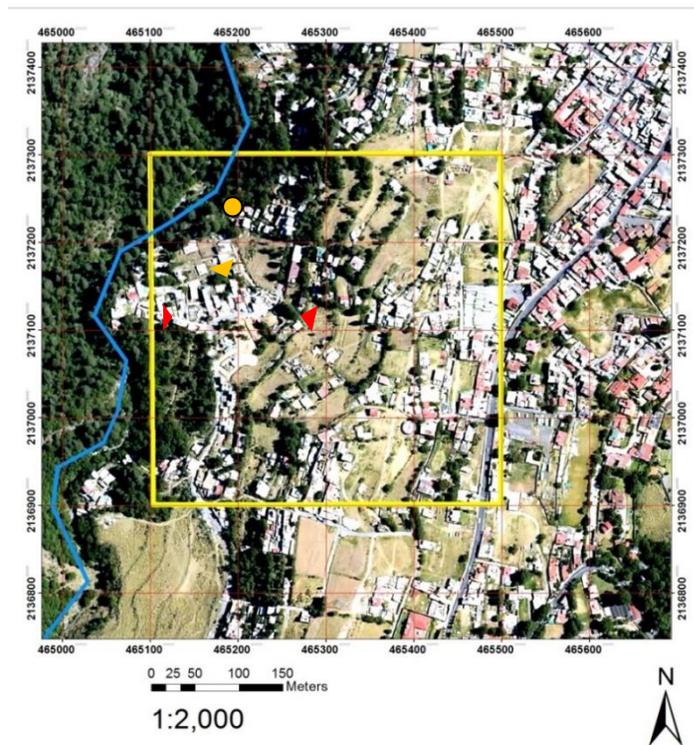


Figura 23. Imagen aérea del 2010 que señala en el recuadro amarillo la zona de estudio del caso 2.

La tabla 29 muestra que el número de viviendas del caso 2, pasó de 72 viviendas en 1989 a 189 en 2010. Lo que nos indica el crecimiento urbano de esta zona y la pérdida de área bosque. La obtención de los siguientes datos fue resultado del conteo de viviendas en fotografías aéreas de cada década correspondiente.

Tabla 29. Número de viviendas del caso 2 en las últimas 3 décadas.

Años	1990	2000	2010
Número de viviendas	72	120	189

La tabla 30 muestra que el área sellada tuvo un gran aumento (de 3.03 ha. en 1989 a 8.61 ha. en 2010) a expensas del área agrícola. El área agrícola decreció de 10.75 ha. en 1989 a 5.55 ha. en 2010. La cubierta forestal fue una categoría menor en cantidad respecto a las otras clases, pasó de 2.17 ha. en 1989 a 1.78 ha. en 2010.

Tabla 30. Áreas de uso de suelo del Caso 2 en los años 1989, 1999, 2010. Elaboración propia

Año	1989		1999		2010	
	Area (Ha)	%	Area (Ha)	%	Area (Ha)	%
Área sellada	3.03	19.01	3.62	22.67	8.61	53.99
Área agricultura	10.75	67.35	10.26	64.28	5.55	34.80
Cubierta Forestal	2.17	13.62	2.09	13.03	1.78	11.20
Total	16	100	16	100	16	100

El siguiente mapa señala las áreas del caso 2 (figura 24). En verdes las áreas de bosque en 1989 y 2010, en naranja el área construida en 1989, en amarillo el área construida en 2005 y en azul el área construida en 2010. Las figuras 25, 26 y 27 muestran unas perspectivas fotográficas del caso 2 en donde se muestran aspectos urbanos. Las figuras 28, 29 y 30 muestran aspectos ambientales, tanto de vegetación como la contaminación y deterioro de la zona.

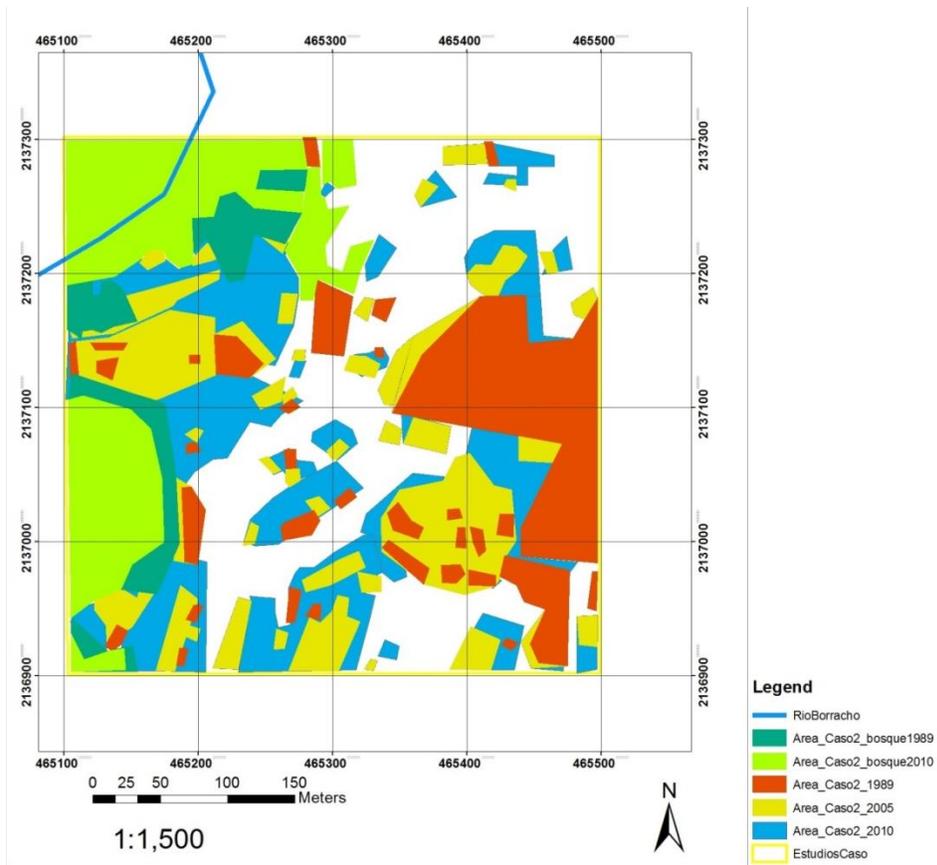


Figura 24. Mapa que señala las áreas del caso 2. Se muestra en una retícula de 100 x 100mts.



Figura 25. Camino pavimentado hacia la barranca en el Caso 2. Se observa una cisterna de 2500 litros utilizada para distribuir agua a las viviendas. Estrato socioeconómico bajo. (Ver referencia en figura 23). Fotografía del autor.



Figura 26. Viviendas en proceso de construcción cerca de la barranca. Caso 2. Estrato socioeconómico bajo. (Ver referencia Figura 23◀). Fotografía del autor.



Figura 27. Viviendas ubicadas cerca de la barranca del río borracho. (Ver referencia figura 23▶). Fotografía del autor.



Figura 28. Camino de tierra con escalones de madera al pie de la barranca en el Caso 2. Fotografía del autor.



Figura 29. Acumulación de basura orgánica e inorgánica en el Caso 2. Fotografía del autor.



Figura 30. Vista hacia el Río Borracho en el Caso 2. Fotografía del autor.

Para el caso 2, se obtuvieron las siguientes gráficas (figura 31), en donde se puede observar que la población (gráfica extrema izquierda) mantiene una tendencia de crecimiento constante, de la misma manera que el aumento en el número de viviendas (gráfica de en medio). En cuanto a las áreas (gráfica extremo derecho), se puede observar que el área agrícola disminuye de manera abrupta (línea roja) mientras que el área urbanizada (línea negra) aumenta de manera significativa y constante, y el área de cubierta forestal (línea verde) disminuye hacia el año 2000 y a partir de ahí se mantiene constante.

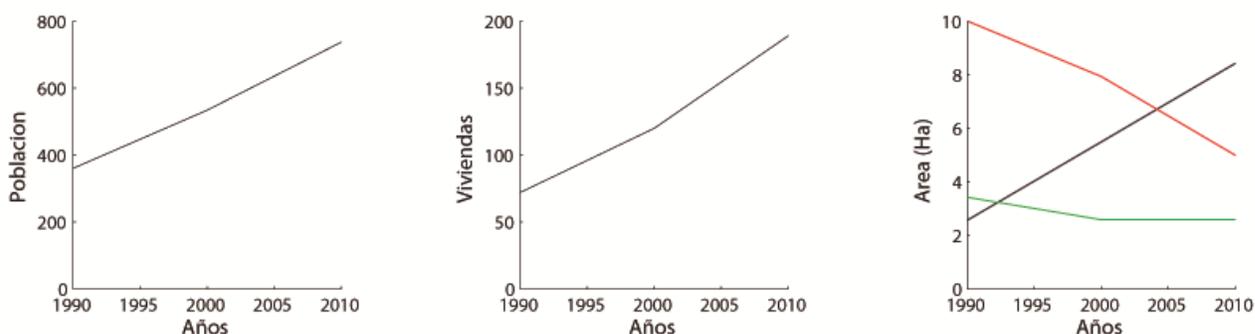


Figura 31. Gráficas del caso 2. Población, Viviendas y Áreas en relación con el tiempo.

En este caso, los índices de naturalidad que se obtuvieron en las décadas de estudio fueron los siguientes (tabla 31). Se puede observar que para los años de 1989 y 1999 el índice se mantiene en 13 unidades, mientras que para el 2010 disminuye a 11 unidades.

Tabla 31. Índices naturalidad caso 2.

Año	1990	2000	2010
Índice Naturalidad	13.55	13.06	11.12

La tabla 32 nos muestra las tasas de cambio obtenidas para el caso 2. De tal manera que para el periodo 1989-2010, el área sellada tuvo un tasa positiva de 0.052, lo que indica una

ganancia de 0.450 ha/año. El área agrícola tuvo una pérdida de 0.018 ha/año. Entre 1989 y 1999, la cubierta forestal tuvo una tasa negativa de cambio de -0.004, lo que indica una pérdida de 0.007 ha/año. Mientras que el área sellada tuvo una tasa positiva de 0.017 indicando una ganancia de 0.153 ha/año. Durante 1999 a 2010 la cubierta forestal tuvo una tasa negativa de -0.015, lo que señala una pérdida de -0.028 ha/año. En el mismo periodo, el área sellada obtuvo una ganancia de 0.746 ha/año y el área agrícola tuvo una pérdida de -0.341 ha/año.

Tabla 32. Tasas de cambio del uso del suelo. Caso 2.

Periodo	1989-1999		1999-2010		1989-2010	
	r	ha/año	r	ha/año	r	ha/año
Área sellada	0.017	0.153	0.086	0.746	0.052	0.450
Área Agricultura	-0.004	-0.026	-0.061	-0.341	-0.033	-0.183
Cubierta Forestal	-0.004	-0.007	-0.015	-0.028	-0.009	-0.018

La tabla 33 muestra los resultados de los cambios de uso de suelo entre categorías en los años de 1989 a 2010- De tal manera que de las 2.16 ha. de cubierta forestal en el año de 1989, 0.38 ha. se convirtieron en área sellada y 1.78 ha. se mantuvieron sin cambios. Mientras que de las 10.74 ha. de área agrícola en 1989, 5.32 ha. se convirtieron a área sellada y para el año 2010, 5.42 ha. se mantuvieron sin cambios, dejando así 8.60 ha. de área sellada para el año 2010.

Tabla 33. Caso 2. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010.

Caso 2. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010		2010			TOTAL (ha)
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal	
1989	Área sellada	2.90	0.13	0.00	3.03
	Área agricultura	5.32	5.42	0.00	10.74
	Cubierta Forestal	0.38	0.00	1.78	2.16
	Total (ha)	8.60	5.55	1.78	15.93

La matriz de transición de Markov para el caso 2 muestra que el área sellada y la cubierta forestal son las clases más estables con 1 y 0.96 probabilidades de permanecer en la misma clase respectivamente (tabla 34). Sin embargo, la cubierta forestal incrementa sus probabilidades de transición de cambio hacia área sellada. El área agrícola disminuye sus probabilidades de mantenerse en la misma clase con .5, mostrando un comportamiento dinámico de transición.

Tabla 34. Caso 2. Matriz de Markov 1989-2010.

Caso 2. Matriz de Markov 1989-2010.		2010		
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal
1989	Área sellada	0.998	0.002	0.000
	Área agricultura	0.491	0.509	0.000
	Cubierta Forestal	0.044	0.000	0.956

3.8.3 Caso 3

El caso 3 se ubica en el sur de SLA (Figura 32). Esta zona se caracteriza por su gran aumento de viviendas en la década del 2010. Existen viviendas de estratos medios y bajos y el nivel de servicios urbanos es menor con respecto a los casos anteriores. El camino de acceso tiene pavimento de concreto, mientras que el resto carece del mismo y algunas zonas tienen adoquín. Existe basura y cascajo en algunos caminos, sin embargo existen árboles de gran tamaño lo que indica que era una zona boscosa en vez de una zona que era destinada a uso agrícola. Lo anterior nos da una idea del proceso de cambio y/o transición en partes de la zona directamente de uso forestal a urbano. En la figura 33 se observan algunas viviendas del caso 3 y grandes árboles que forman una cubierta forestal. También se distingue arena vertida en el terreno para propiciar la sequía de los árboles y continuar el proceso de construcción de viviendas.

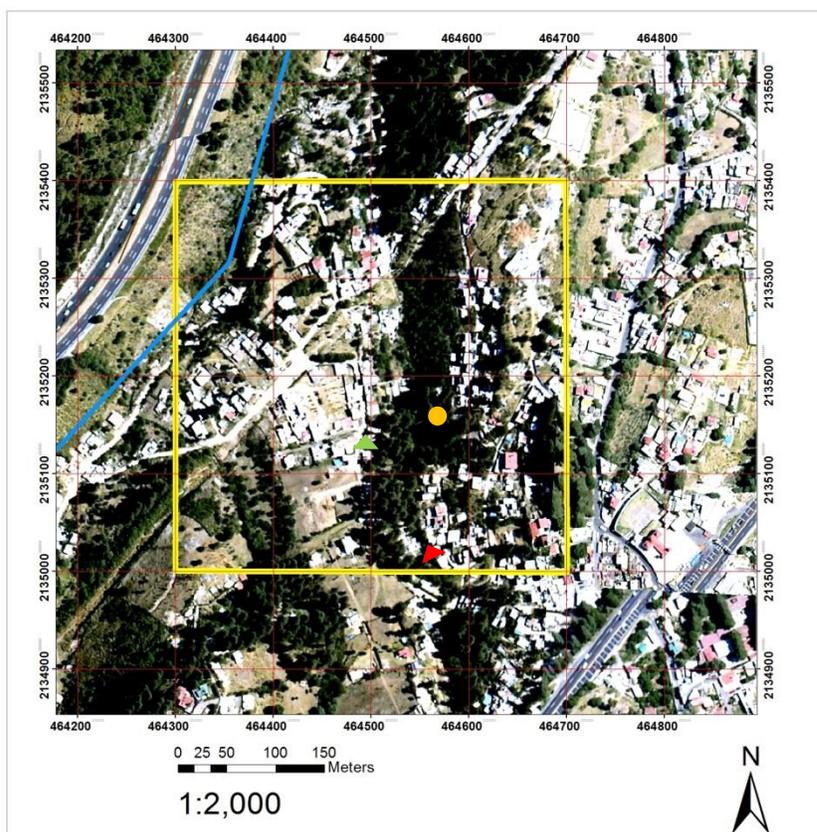


Figura 32. Imagen aérea del año 2010. El recuadro amarillo señala la zona de estudio del caso 3.



Figura 33. Vista de una barranca y viviendas del caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia figura 32 ●)

La tabla 35 muestra el número de viviendas del caso 3 en las últimas 3 décadas. De tal manera que de 15 viviendas existentes en 1989, hubo un aumento dramático a 148 viviendas en 2010. Lo que nos indica el rápido aumento demográfico y el crecimiento urbano de esta zona.

Tabla 35. Número de viviendas del caso 3 en las últimas 3 décadas.

Años	1989	1999	2010
Viviendas	15	87	148

La tabla 36 muestra las áreas de uso de suelo del caso 3. El área agrícola y de espacios abiertos fue la clase más abundante al principio del periodo de estudio; sin embargo, tuvo un drástico decrecimiento de 8.83 ha. en 1989 a 5.08 ha. en 2010. El área sellada tuvo el mayor crecimiento; pasó de 1.22 ha. en 1989 a 8.94 ha. en 2010 a expensas del área agrícola y en menor medida de la cubierta forestal.

Tabla 36. Áreas uso de suelo. Caso 3.

Año	1989		1999		2010	
	Area (Ha)	%	Area (Ha)	%	Area (Ha)	%
Área sellada	1.22	7.62	6.99	43.70	8.94	55.92
Área agricultura	8.83	55.21	4.18	26.17	5.08	31.76
Cubierta Forestal	5.96	37.25	4.84	30.26	1.99	12.46
Total	16	100	16	100	16	100

El siguiente mapa (figura 34) señala las áreas del caso 3. En verde el área de bosque, en amarillo el área construida en 1989, en naranja el área construida en 2005 y en azul el área construida en 2010.

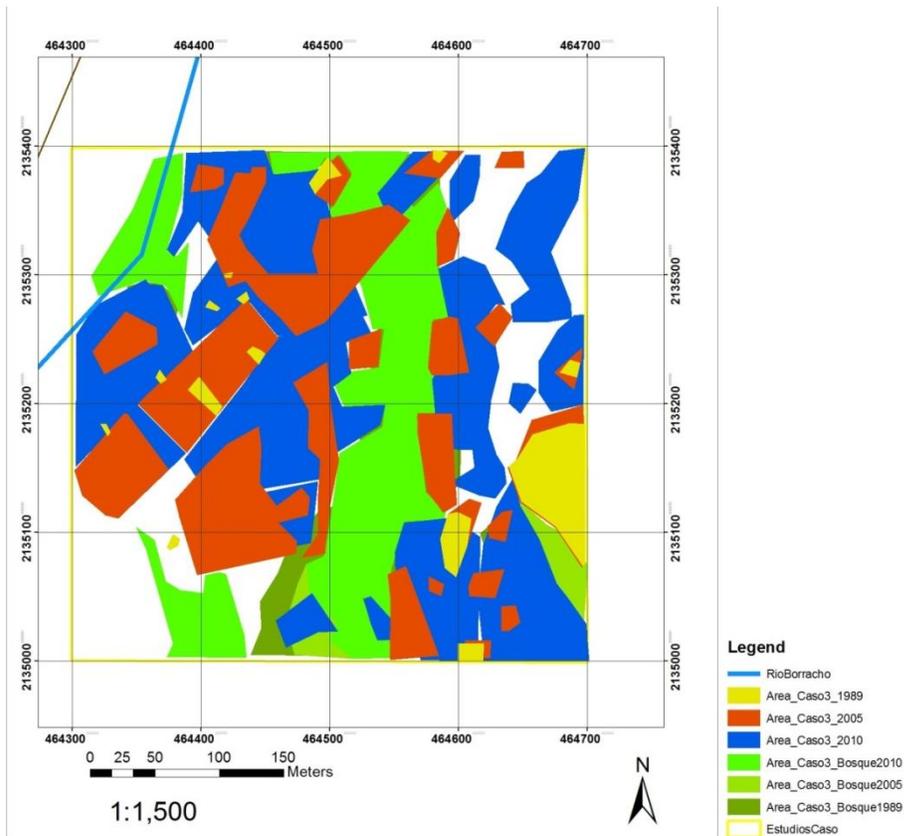


Figura 34. Mapa que señala las áreas del Caso 3. Se muestra en una retícula de 100 x 100mts.

Las siguientes fotografías del caso 3 (figuras 35, 36 y 37) nos muestran la carencia de pavimento en algunas zonas. También, nos indica los estratos socioeconómicos bajos y muy bajos por los materiales de construcción utilizados. Así mismo también muestran la cantidad de vegetación existente en esa zona.



Figura 35. Calle del Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32▶)



Figura 36. Calle y viviendas del Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32▲).



Figura 37. Calle con adoquín en el Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32▲)

Para este caso se obtuvieron las siguientes gráficas (fig. 38). En donde se puede observar que el crecimiento de la población es constante (gráfica izquierda), de igual manera se comporta el aumento en el número de viviendas. En la gráfica de la derecha, podemos observar el comportamiento de las áreas; por un lado el área urbana (línea negra) aumenta de manera significativa casi desde cero a partir del año 2000, mientras que el área agrícola disminuye de manera importante a partir del año 2000 para finalmente descender abruptamente hacia el año 2010. Mientras el área de cubierta forestal también tiene un decrecimiento significativo en esos años.

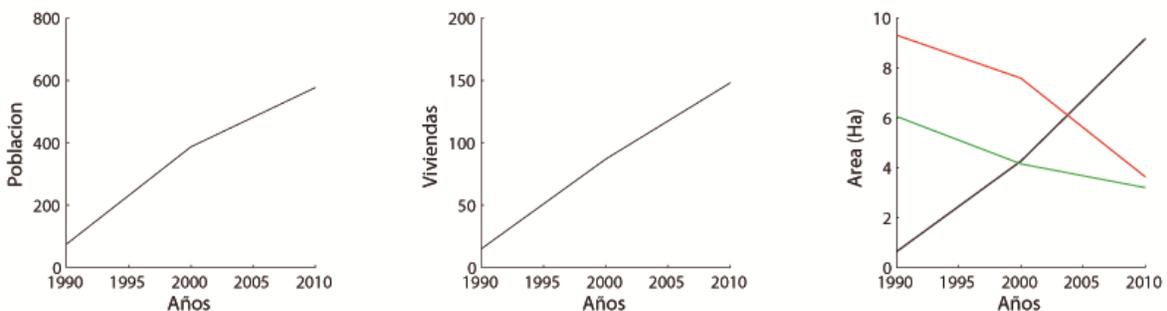


Figura 38. Gráficas del caso 3. Población, Viviendas y Áreas en relación con el tiempo.

En este caso, el índice de naturalidad (tabla 37) muestra un gran descenso, pasó de 37.83 en 1989 a 19.97 en el 2010

Tabla 37. Índice de naturalidad del Caso 3.

Año	1990	2000	2010
Índice Naturalidad	37.83	25.95	19.97

La tabla 38 muestra las tasas de cambio para el caso 3. En el periodo de 1989 a 2010, el área sellada tuvo una tasa positiva de 0.099, lo que indica una ganancia de 0.890 ha/año. El área agrícola tuvo una pérdida de 0.240 ha/año y la cubierta forestal tuvo una tasa negativa de -0.054, lo que significa una pérdida de 0.109 ha/año. Entre 1989 y 1999, la cubierta forestal tuvo una tasa negativa de -0.020, indicando una pérdida de 0.041 ha/año. Mientras que el área sellada tuvo una tasa positiva de 0.174, lo que indica una ganancia de 1.56 ha/año. Durante el periodo de 1999 a 2010, la cubierta forestal tuvo una tasa negativa de -0.088, lo que señala una pérdida de 0.177 ha/año. En el mismo periodo, el área sellada obtuvo una ganancia de 0.220 ha/año y el área agrícola tuvo una pérdida de 0.099 ha/año.

Tabla 38. Tasas de cambio del caso 3.

Periodo	1989-1999		1999-2010		1989-2010	
	r	ha/año	r	ha/año	r	ha/año
Área sellada	0.174	1.561	0.024	0.220	0.099	0.890
Área Agricultura	-0.074	-0.380	0.019	0.099	-0.027	-0.140
Cubierta Forestal	-0.020	-0.041	-0.088	-0.177	-0.054	-0.109

La matriz de cambio de uso de suelo para el caso 3 (Tabla 39) muestra que de las 5.95 ha. de cubierta forestal existentes en 1989, 2.47 ha. se convirtieron en área sellada y 1.48 ha. permanecieron sin cambios para el año 2010. De 8.82 ha. de área agrícola en 1989, 5.25 ha. se convirtieron en área sellada y 3.57 ha se mantuvieron sin cambios, dejando así un total de 8.92 ha. de área sellada para el 2010.

Tabla 39. Matriz de cambio de uso de suelo Caso 3. Periodo 1989-2010.

Matriz de cambio de uso de suelo Caso 3. Periodo 1989-2010		2010			
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal	TOTAL (ha)
1989	Área sellada	1.20	0.09	0	1.29
	Área agricultura	5.25	3.57	0.00	8.82
	Cubierta Forestal	2.47	1.49	1.99	5.95
	Total (ha)	8.92	5.10	1.99	16.01

La tabla 40 muestra la matriz de Markov del caso 3 para el periodo de 1989-2010. De tal manera que podemos observar que la cubierta forestal y el área agrícola fueron las categorías más dinámicas con probabilidades de 0.32 de mantenerse en la misma categoría. La cubierta forestal incrementó 0.50 probabilidades de transición en favor del área sellada y 0.18 para área agrícola. El área agrícola muestra 0.68 probabilidades de transición hacia área sellada.

Tabla 40. Caso 3. Matriz de Markov 1989-2010.

Caso 3. Matriz de Markov 1989-2010		2010		
		Área sellada	Área agricultura	Cubierta Forestal
1989	Área sellada	1	0	0
	Área agricultura	0.68	0.32	0
	Cubierta Forestal	0.50	0.18	0.32

Es interesante que al comparar la dinámica de los casos de estudio se observan diferencias en el comportamiento de cada caso (ver Figura 39. Por ejemplo, mientras que en el caso 1 y 2 (ver primera y segunda fila de Fig. 39) existe un crecimiento en el área urbanizada a expensas de área agrícola y poca o nula tasa de cambio en el área forestal, en el caso 3 (fila 3) se observa que el crecimiento del área urbanizada de esta región ha sido a expensas de área forestal y agrícola. Por otro lado en los 3 casos ha incrementado la población, sin embargo en el caso 3 es importante destacar que este crecimiento poblacional es reciente, prácticamente en el intervalo de estudio.

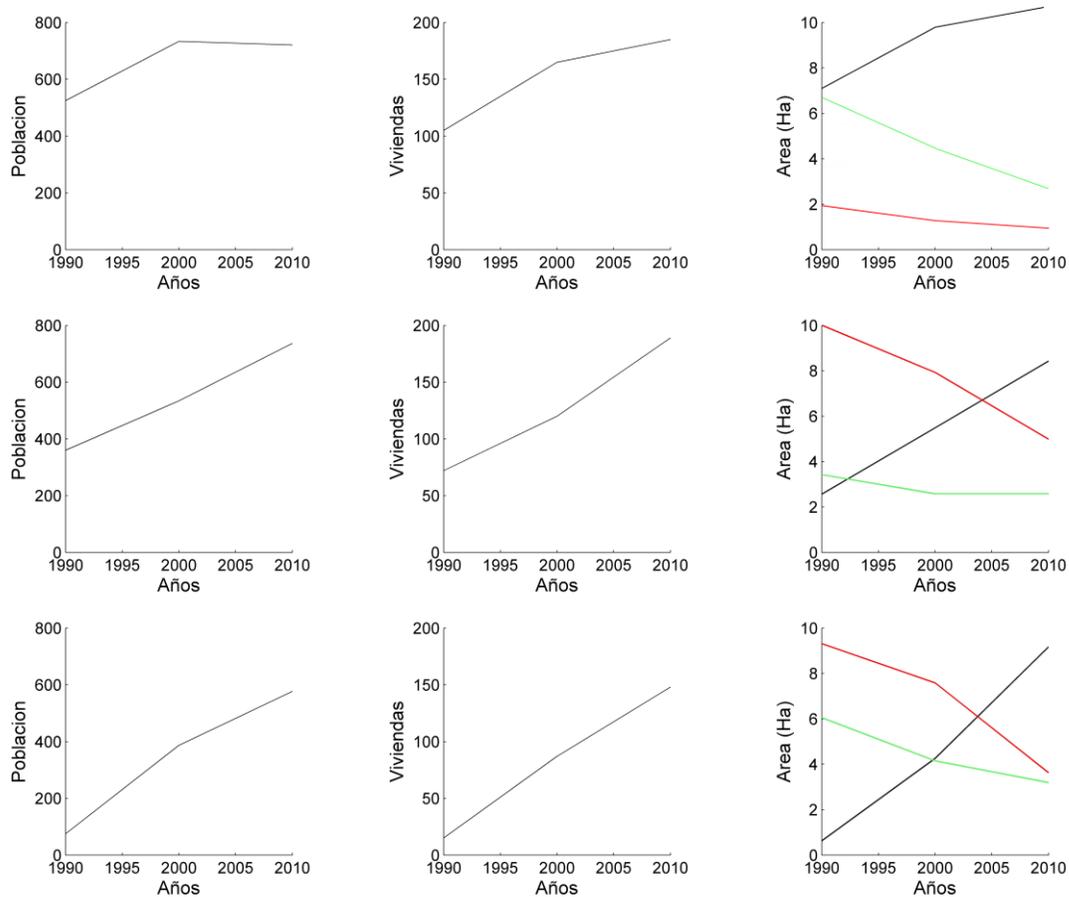


Figura 39. Comparación de las dinámicas de cambio en la población, el número de viviendas y las áreas de uso de suelo a escala local. Estudios de caso.

Como conclusión de la selección de los casos de estudio, se puede decir que los casos 2 y 3 muestran en gran medida la expansión urbana acelerada de la parte sur de SLA. Cada uno con diferentes características en las variables a analizar, tanto urbano y ambientales como sociales. Estos aspectos arrojan datos importantes para poder explicar el deterioro ambiental en éstas condiciones.

3.9 Resultados del trabajo de Campo

Caso 1

Como ya se ha mencionado, el caso 1 es el que tiene mayor densidad de población y altos ingresos en sus habitantes. Así mismo, es el caso que cuenta con una mayor calidad en la construcción de las viviendas y de igual manera es el caso que tiene una mayor consolidación en los servicios urbanos; pavimento, drenaje, recolección de basura y servicio de agua potable. En este último servicio, se pudo observar durante las visitas a campo que existe un desabasto en el servicio de agua. En época de estiaje hay escasez del líquido, el servicio es por tandeo, es decir, el agua se surte por colonias y en ciertos días de la semana de acuerdo a un plan organizado por la comunidad y la delegación. La figura 40 señala las viviendas encuestadas en el Caso 1.

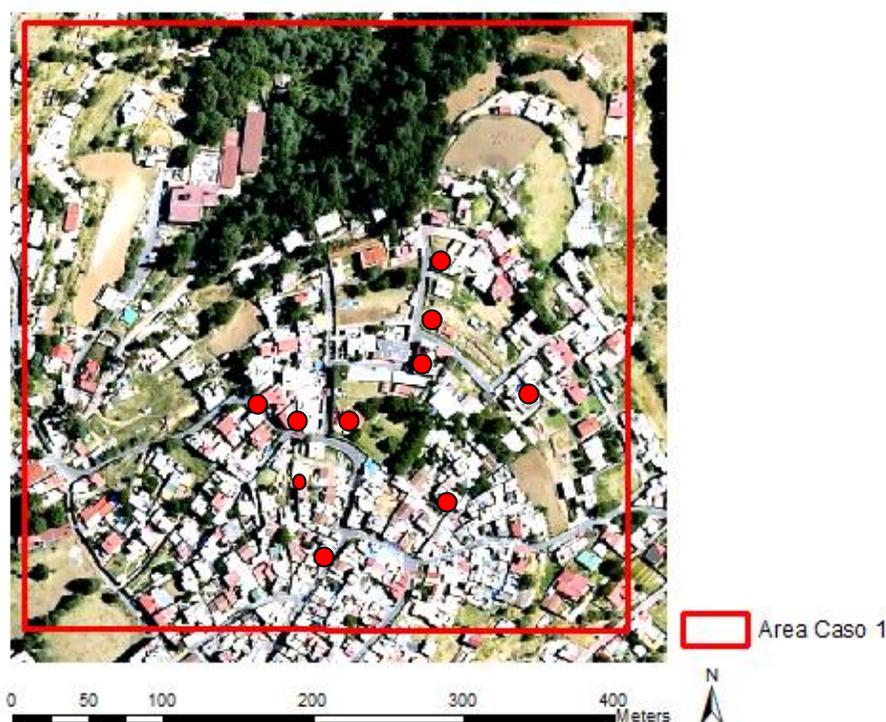


Figura 40. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 1. Señala en rojo las viviendas encuestadas.

Caso 2.

De acuerdo a los datos recabados en la cédula de observación, una de las generalidades que se observó en este caso, es que todas las viviendas que cuentan con “drenaje” vierten sus residuos líquidos hacia la barranca, lo cual ocasiona un deterioro en la calidad del agua del río y el ambiente en general. Lo anterior denota que no existe una red municipal de drenaje. La figura 41 muestra las viviendas del caso 2 que fueron encuestadas.

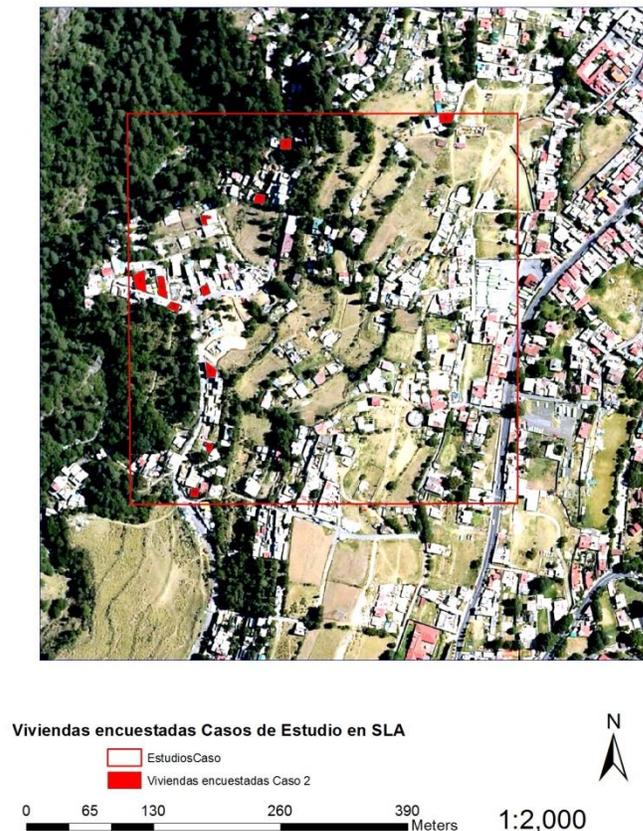


Figura 41. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 2. Señala en rojo las viviendas encuestadas.

Caso 3

A partir de la observación y las entrevistas realizadas, el caso 3 muestra una menor consolidación en los servicios urbanos, tanto de abastecimiento de agua como de drenaje y pavimento. También muestra un menor nivel de ingresos en sus habitantes lo que se refleja en la calidad de los materiales de construcción de las viviendas. En este caso, una de las prácticas que se observó y de las que se obtuvo testimonio en las entrevistas, es que para preparar el terreno y construir una vivienda, se vierte arena en la barranca para secar los árboles grandes y así tirarlos. Con esta práctica se justifica el derribamiento del árbol dado que en estas condiciones constituye un riesgo para la población, además de que tirar un árbol sano y grande representa un delito ambiental. La figura 42 muestra las viviendas encuestadas dentro del caso 3.

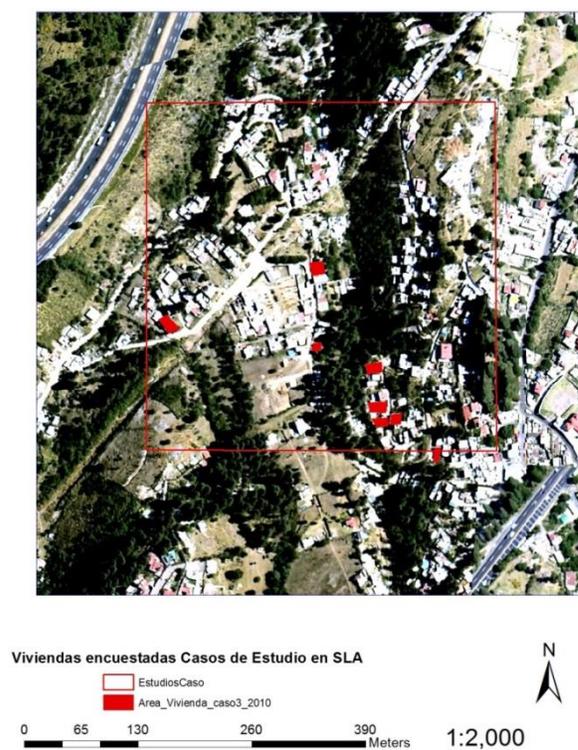


Figura 42. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 3. Señala en rojo las viviendas encuestadas.

Componente urbano

Fuente de abastecimiento de Agua potable

Mediante observación de campo se determinó la fuente de abastecimiento de agua potable para cada uno de los casos de estudio (Tabla 41 y Figura 43). En el caso 3 la distribución de agua es mediante una cisterna comunitaria, mientras que la mayoría de las viviendas del caso 1 y 2 cuentan con toma domiciliaria y en algunos casos el abastecimiento de agua es a través de camiones ó pipas que surten agua directamente a los tinacos de las viviendas.

Tabla 41. Fuente de abastecimiento de agua potable por caso de estudio.

	Toma domiciliaria	Camión/ Pipa	Cisterna comunal
Caso 1	100%	0	0
Caso 2	84%	16%	0
Caso 3	0	0	100%

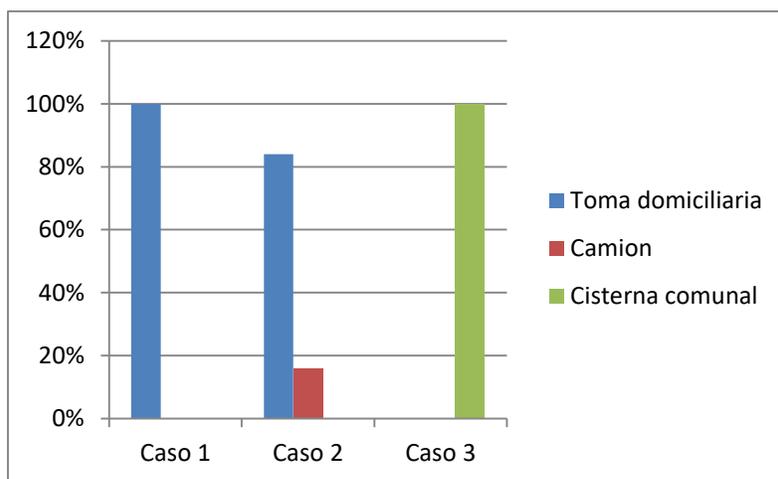


Figura 43. Gráfica que muestra el tipo de abastecimiento de agua por caso de estudio en las viviendas encuestadas.

Pavimento

Como se puede observar en la Tabla 42 y la figura 44 el caso 1 es el área con mayor pavimento, mientras que el caso 3 es un caso con menor sellamiento. Lo que muestra que el caso 1 es el área con mayor consolidación urbana y el caso 3 es el área con menor infraestructura de este tipo.

Tabla 42. Tipo de pavimento frente a la vivienda encuestada por caso de estudio.

	1=Pavimento	2=Adoquín	3=Terracería
Caso 1	62%	38%	0%
Caso 2	66%	8%	26%
Caso 3	13%	62%	25%

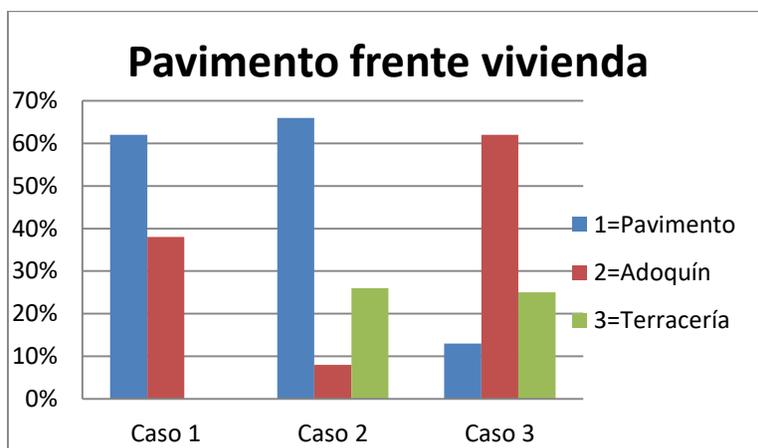


Figura 44. Gráfica del tipo de pavimento por caso de estudio.

Drenaje

En cuanto al drenaje, se obtuvieron los siguientes resultados; se pudo observar en el caso 2 y 3, (Tabla 43 y Figura 45) que las viviendas cuentan con instalación sanitaria y existe una conexión a una red común de drenaje que va directamente a la barranca, en donde se vierten los desechos líquidos de todas las viviendas hacia el río. Esto indica que no existe una red de drenaje. Por ejemplo, en la figura 7 se observa el vertido de desechos hacia el río mediante un tubo de drenaje al cual se conectan algunas viviendas del caso 2. La figura 46 constata el vertido de desechos líquidos hacia la barranca del río Borracho.

Tabla 43. Drenaje por vivienda por caso de estudio.

	1=Drenaje	2=Fosa séptica	3=No tiene drenaje
Caso 1	100%	0	0
Caso 2	91%	8%	0
Caso 3	75%	25%	0

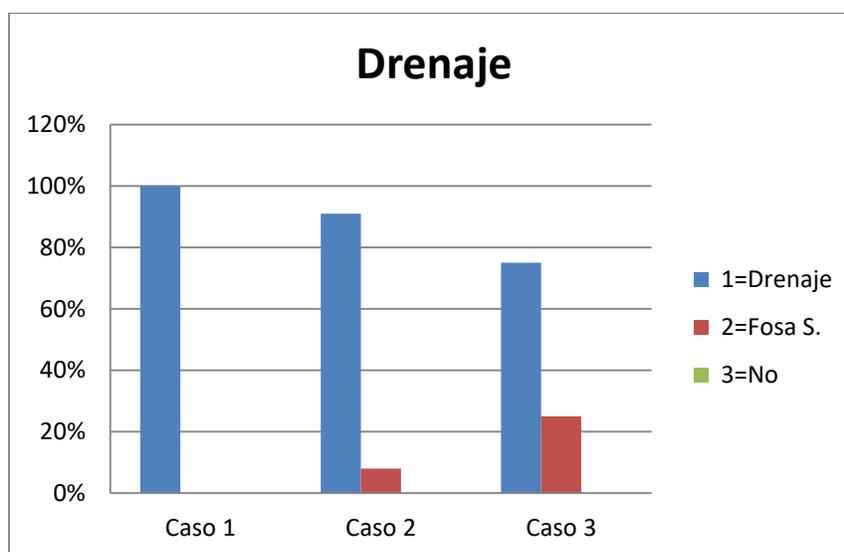


Figura 45. Gráfica que muestra la existencia o carencia de drenaje, así como las fosas sépticas por caso de estudio.



Figura 46. Fotografía que colecta y vierte el drenaje de diversas viviendas al río dentro del caso 2. Fotografía del autor.

Niveles construidos

En relación a los niveles construidos (tabla 44 y figura 47), se pudo observar que en el caso 1 existe una consolidación urbana mayor respecto a los demás casos, por ejemplo, existe una mayor proporción de construcciones de 3 niveles y la regulación establece que en esa zona las construcciones no deben exceder de 2. Mientras que en el caso 2 existe un mayor número de viviendas con 2 niveles. En el caso 3 existe la misma proporción entre 1 y 2 niveles construidos (50% en cada caso).

Tabla 44. Tabla que muestra los niveles construidos por caso de estudio.

Niveles	1	2	3
Caso 1	50.00%	37.00%	13.00%
Caso 2	34.00%	58.00%	8.00%
Caso 3	50.00%	50.00%	0.00%

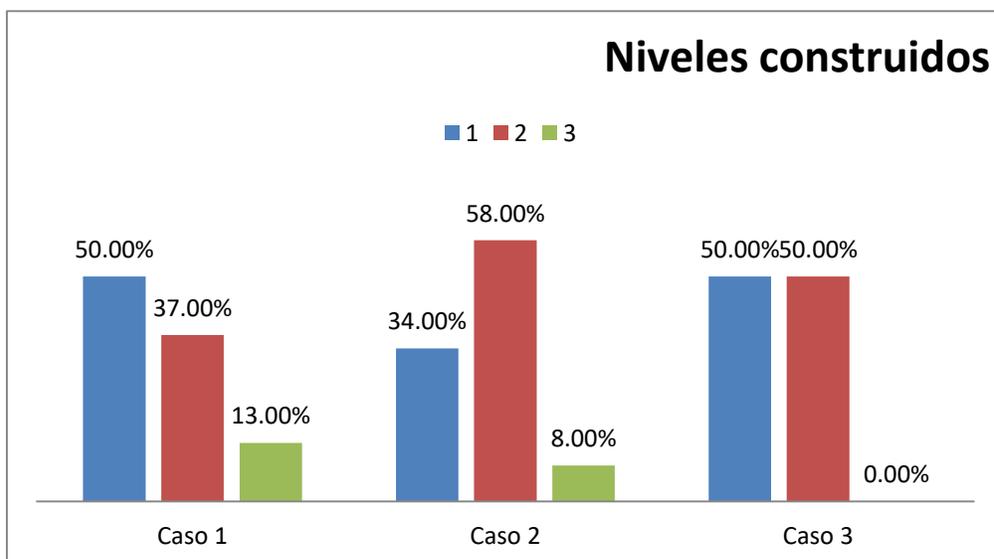


Figura 47. Gráfica que muestra la relación de los niveles construidos por caso.

Materiales de construcción

En cuanto a los materiales de construcción (tabla 45 y figura 48), se observó en campo que el caso 1 es el que mantiene una mayor cantidad de viviendas con acabados y no existen viviendas con materiales precarios, es decir de tablonos o láminas. Mientras que el caso 2 es el que tiene mayor número de viviendas sin acabados y un 9% de viviendas observadas son de materiales precarios. En el caso 3 sobresale que el 13% de las viviendas observadas están construidas con materiales precarios (ver ejemplo figura 10) mientras que un 50% no tienen acabados y un 37% tienen acabados. La figura 49 muestra una vivienda construida con materiales precarios.

Tabla 45. Materiales de construcción de vivienda por caso de estudio.

	Tabicón c/acabados	Tabicón s/acabados	Precarios
Caso 1	87%	13%	0%
Caso 2	25%	66%	9%
Caso 3	37%	50%	13%

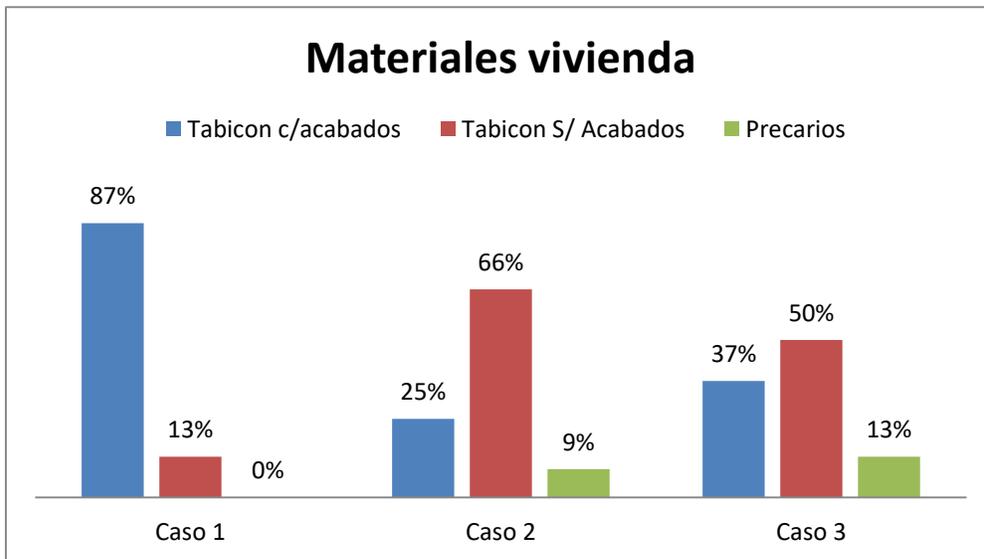


Figura 48. Gráfica que muestra en porcentajes los materiales de las viviendas encuestadas por caso de estudio.



Figura 49. Fotografía que muestra una vivienda del caso 3 construida con materiales precarios.

M² construidos por vivienda/década.

En relación a los m² por vivienda, la información se obtuvo, por un lado, a partir de la comparación de fotografías aéreas por caso de estudio, y por otro a partir de la observación

de los niveles construidos. De esta manera, la figura 50 muestra el promedio de los m² construidos por vivienda. En el caso 1 podemos observar que la vivienda promedio para el año 1990 es de 85 m² y para el 2010 aumenta a aproximadamente 175 m². El caso 2 muestra que para 1990 la vivienda promedio es de 120 m², esto puede deberse a que los terrenos son un poco más grandes con respecto al caso 1 y para el año 2010 la vivienda promedio es de aproximadamente 145 m². Mientras que en el caso 3 podemos observar que las viviendas encuestadas fueron construidas a partir del año 2000 y la vivienda promedio es de 145 m² y para el año 2010 la vivienda promedio es de aproximadamente 180 m².

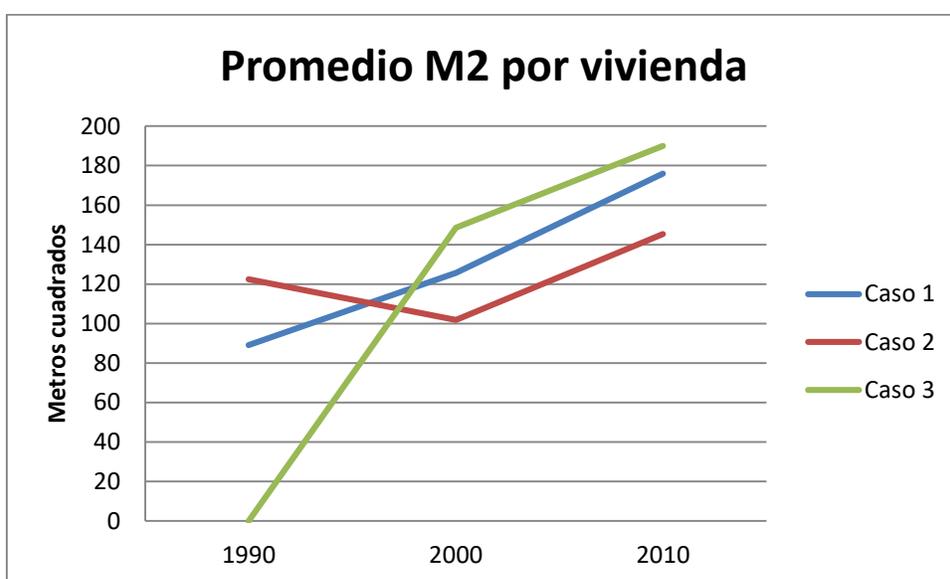


Figura 50. Gráfica que muestra el promedio de los m² construidos por vivienda en relación al tiempo.

Componente Ambiental

Cantidad de basura en el entorno

Como un indicador ambiental cualitativo, se observó la cantidad de basura en el entorno, es decir, desechos inorgánicos en el suelo (bolsas de plástico, cascajo, llantas, etc.) que se encuentran en el entorno inmediato a las viviendas encuestadas. De esta manera, en la figura 51 podemos observar que el caso 1 es en el que menos basura se observó, un 70% de las viviendas observadas mostraban una baja cantidad de basura en su entorno, mientras que

25% de las viviendas del caso 1 tienen mediana cantidad de basura en su entorno. Mientras que en el caso 2 se observó que 90% de las viviendas encuestadas muestran una cantidad alta de basura en su entorno y 8% muestra una cantidad alta de basura, ésta última en el cauce y laderas de la barrancas, y por último, el caso 3 mostró que 75% de las viviendas encuestadas tienen una cantidad de basura alta y 25% muestra una cantidad media, esto se puede deber a que los servicios de recolección de basura llegan con menor frecuencia que en los otros casos.

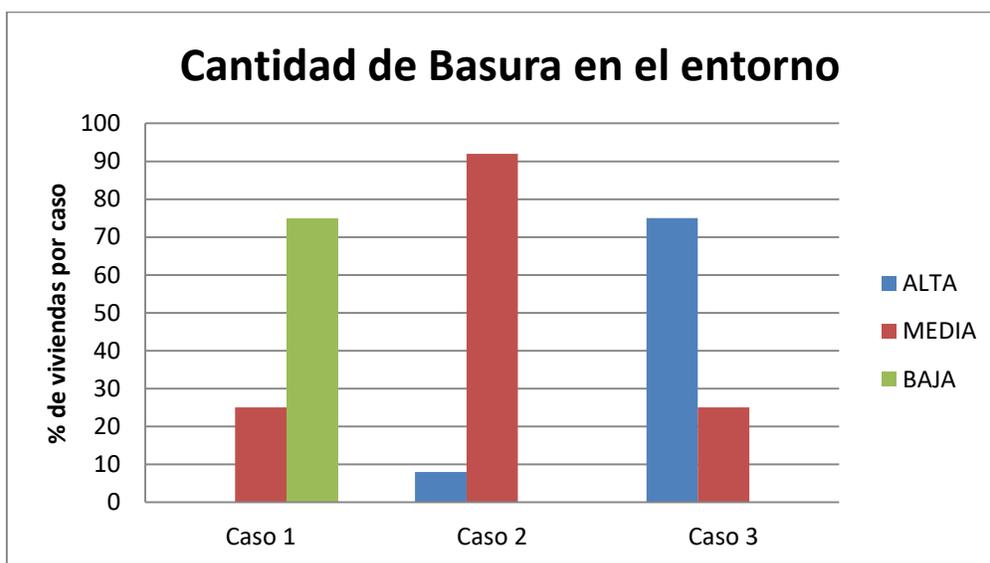


Figura 51. Gráfica que muestra la cantidad de basura en el entorno.

En las visitas a campo se entrevistó a los choferes de los camiones de basura en los distintos casos de estudio. La recolección de residuos orgánicos tiene una frecuencia de 3 días a la semana y en cada uno de estos días se llena el camión que tiene una capacidad de 15 toneladas. Estos residuos se depositan en el centro de transferencia de San Antonio y Periférico.

Los residuos inorgánicos son recolectados cada 3er día, en promedio se recolectan 15 toneladas y el destino de estos residuos es al mismo centro de transferencia de San Antonio. En este sentido se puede decir que no hay depósito local en SLA y los residuos se depositan en el centro de recolección antes mencionado. Sin embargo, con respecto al caso 2 y 3 se observó y se obtuvieron testimonios de los habitantes encuestados, que en estas zonas el

servicio de recolección a veces no pasa, por lo que los habitantes muchas veces tiran sus residuos a las barrancas o los guardan en sus casas y esperan a que el camión recolector pase.

Paisaje perturbado

Esta categoría se refiere a la cantidad de paisaje perturbado en el entorno. A partir de la observación se dedujo si el paisaje natural está en condiciones de perturbación alta, media o baja, para ello se utilizó el siguiente criterio establecido en la tabla 46.

Tabla 46. Criterio de calificación de paisaje perturbado.

Alta	Alta cantidad de vegetación secundaria ¹⁹ y arbustos, árboles caídos, suelo desnudo
Media	Algunos árboles grandes en óptimas condiciones, pastizales, arbustos, suelo en buenas condiciones
Baja	Árboles grandes, suelo óptimo.

En la siguiente gráfica (figura 52) podemos observar que el paisaje menos perturbado está en el caso 1, esto se debe a que el área urbana está perfectamente delimitada, de igual forma que el área forestal. En el caso 2 existen fragmentos de bosque con alta cantidad de vegetación secundaria, en este caso la urbanización es sobre estos terrenos por lo que el paisaje está mayormente perturbado, de igual manera en las zonas de barrancas de este caso hay árboles secos, caídos o perturbados, y de igual forma, en las zonas con río se observa que éste está contaminado (figura 53). Por último, el caso 3 muestra una cantidad mayor de paisaje perturbado con respecto a los demás casos. Cabe mencionar, que los tres casos están en zona de alto valor ambiental y mantienen cierta cantidad de paisaje sin perturbación y con grandes

¹⁹ VEGETACIÓN SECUNDARIA: Estado sucesional de la vegetación. Se indica alguna fase de vegetación secundaria cuando hay algún tipo de indicio de que la vegetación original fue eliminada o perturbada a un grado en el que ha sido modificada profundamente. Fuente:

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/?_file=/geo/...

árboles, es por ello que en la gráfica se observa que existe perturbación baja en los 3 casos, sin embargo se evidencia la perturbación.

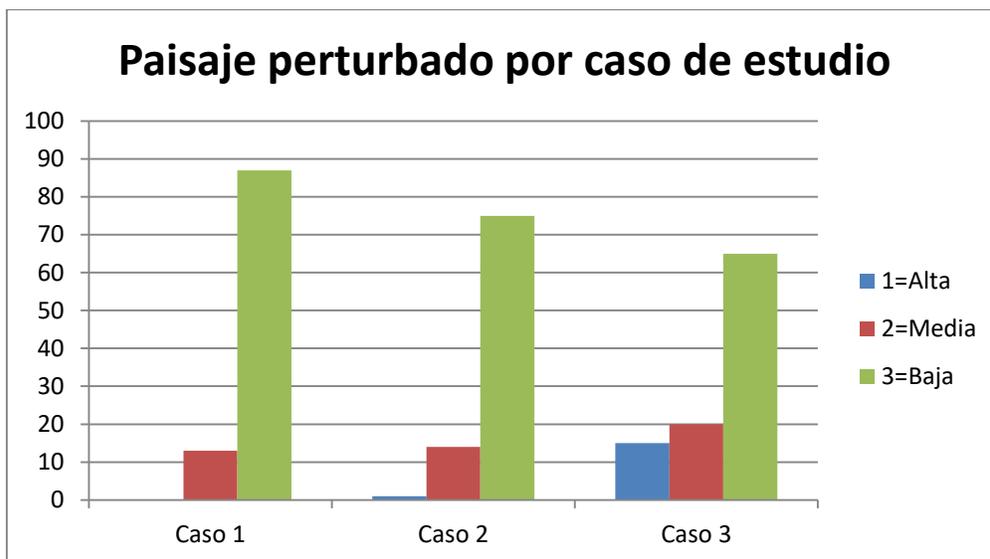


Figura 52. Gráfica que muestra la cantidad de paisaje perturbado en el contexto inmediato a las viviendas encuestadas.



Figura 53. Fotografía del caso 2 en donde se observa el paisaje perturbado, el río de color gris y con espuma. En esta zona también se percibe un olor fétido en el río. Fotografía del autor.

Vulnerabilidad

En cuanto a la vulnerabilidad, se tomó en cuenta la ubicación de las viviendas, así como los materiales de construcción, susceptibilidad a inundaciones o deslaves. Los criterios utilizados fueron los siguientes (Tabla 47).

Tabla 47. Criterio utilizado para estimar la vulnerabilidad de las viviendas.

Vulnerabilidad Alta	Ubicación de vivienda cerca del río, pendiente pronunciada y materiales precarios
Vulnerabilidad Media	Ubicación en zonas susceptibles de deslaves o inundaciones. Viviendas construidas con cemento y/o tabique.
Vulnerabilidad Baja	Ubicación en zonas altas sin riesgo. Viviendas construidas con cemento y/o tabique.

La siguiente gráfica (figura 54) nos muestra la vulnerabilidad en que se encuentran las viviendas observadas y encuestadas de acuerdo al criterio explicado anteriormente. Podemos observar que el caso 1 es el que tiene mayor número de viviendas encuestadas en estado bajo de vulnerabilidad, es decir el riesgo de inundación o deslave es bajo dado que se ubican en las zonas altas y con mayor urbanización. En el caso 2 hay algunas viviendas en condiciones de alta vulnerabilidad por ubicarse en zonas bajas y cerca del cauce del río o en las laderas. Mientras que el caso 3 es el que presenta un mayor número de viviendas en condiciones de vulnerabilidad tanto por su ubicación como por los materiales de construcción precarios.

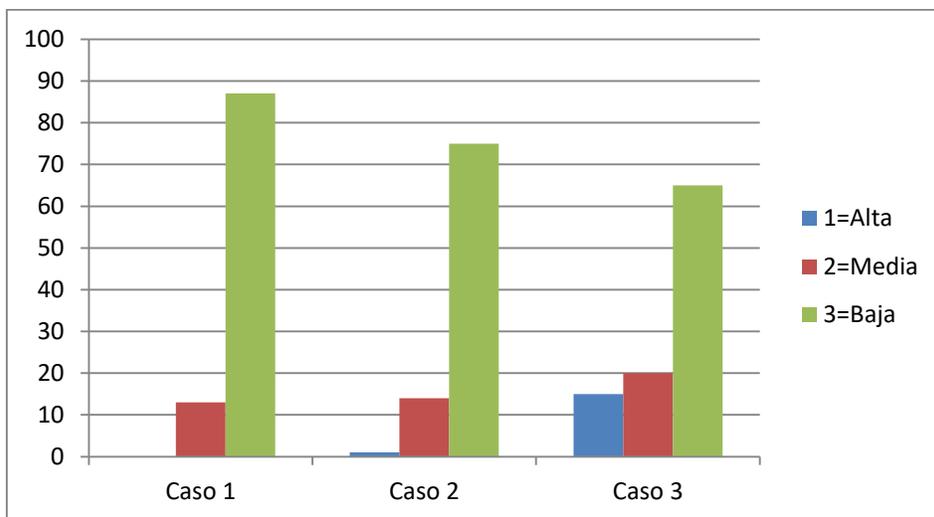


Figura 54. Grafica de vulnerabilidad por vivienda encuestada por caso de estudio.

Componente social

Habitantes por vivienda

Con respecto a los habitantes por vivienda, la investigación de campo arrojó los siguientes resultados. En la figura 55 cada punto representa el número de habitantes por vivienda durante el año 1990 graficado contra el número de habitantes en la misma vivienda en el 2010. Los círculos en rojo corresponden a las viviendas del caso 1. Los círculos en azul corresponden a las viviendas del caso 2 y los círculos en negro corresponden a las viviendas del caso 3. En los 3 casos de estudio se observa que el número de habitantes respecto al 2010 es mayor que el número de habitantes en 1990 para las mismas viviendas, excepto en una vivienda del caso 1 en la cual disminuyó el número de habitantes. Esto sugiere que en general ha aumentado el número de habitantes por vivienda en los 3 casos de estudio.

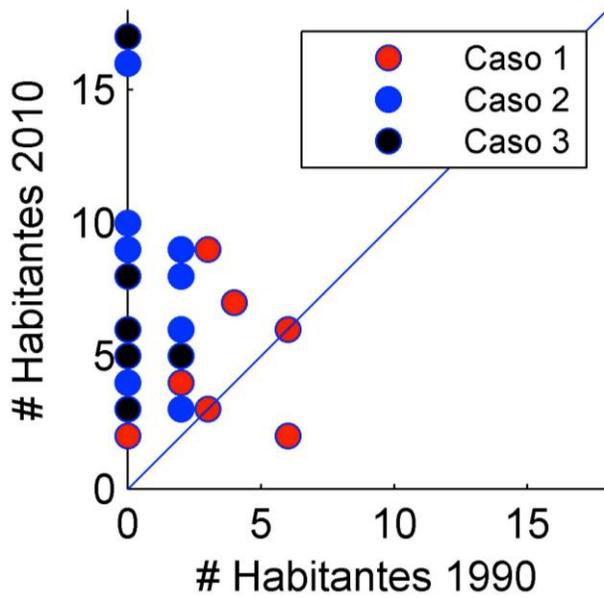


Figura 55. Grafica de dispersión que muestra el número de habitantes por vivienda y por caso de estudio en relación con el tiempo.

Ingresos por vivienda

Con base en las encuestas realizadas por vivienda, se obtuvo la cantidad de habitantes que cuentan con empleo, así como el tipo de trabajo que desarrollan y del año desde que trabajan. Posteriormente, se consultó en el Observatorio Laboral de la Secretaría del Trabajo²⁰ el salario promedio mensual para el año 2010 de acuerdo al empleo y se obtuvo la siguiente tabla (Tabla 48). Por el momento se estimó el ingreso mensual para las décadas de 1990, 2000 y 2010 con base en la siguiente tabla, se discutirá si se utilizarán otros tabuladores históricos para las décadas anteriores al 2010.

Tabla 48. Promedio de salario mensual y tipo de empleo. Elaboración propia con base en el observatorio laboral de la Secretaría del Trabajo.

Trabajador	Ingreso mensual / pesos
Cocinero	4761
Peón	5000

²⁰ <http://www.observatoriolaboral.gob.mx/swb/>

Empleada Doméstica	5000
Secretarias	5500
Comerciante	5589
Panadero	5838
Chofer	6000
Mecánico	6106
Albañil	6680
Trabajador CFE	8400
Enfermera	9139
Pensionado/Jubilado	10000
Medico	11110
Ingeniero	13862

A partir de lo anterior y de la información recabada en campo, se realizó el cálculo para los casos de estudio y se obtuvo la tabla 49 que muestra el error estándar de la media de los datos sobre el salario por caso de estudio.

Tabla 49. Error estándar de la media del salario por caso de estudio.

Error estandar	Año 1990	Año 2000	Año 2010
Caso 1	1235.75	2197.95	2796.74
Caso 2	1200	2550.64	2836.09
Caso3	0	489.9	1917.96

La figura 56 muestra la gráfica de la mediana de los salarios por caso de estudio y por década. De manera general podemos observar que el ingreso ha aumentado a lo largo del tiempo en los 3 casos de estudio, lo que demuestra el aumento de población y el probable aumento de consumo-producción de residuos por vivienda. También, se observa que el caso 1 es el que mayor salario recibe por vivienda encuestada, aspecto que corrobora que el caso 1 es el de

mayor ingreso, mientras que el caso 3 es el que menores ingresos presenta en las tres décadas de estudio.

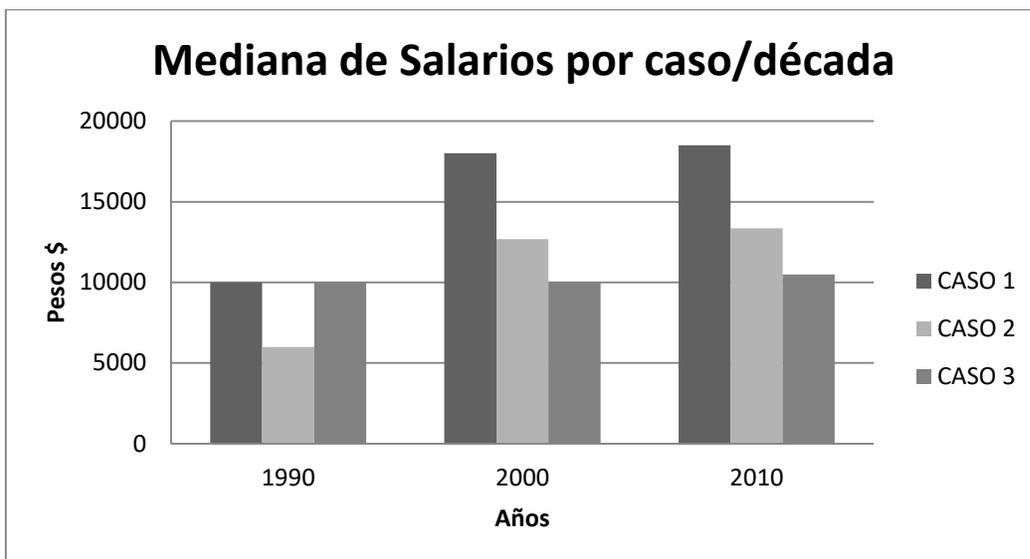


Figura 56. Gráfica de la mediana de salarios por caso en relación con el tiempo.

3.10 Análisis comparativo entre casos. Escala local.

En este apartado, se presenta una comparación entre los resultados de los casos de estudio. Se muestra gráficas del número de viviendas, de densidad de población y la producción de residuos sólidos y consumo de agua, por caso de estudio. Lo anterior fue obtenido a partir de los datos colectados en campo y por el cálculo de los promedios por caso.

La figura 57 muestra el número de viviendas por caso de estudio. En este caso la información se obtuvo a partir de las fotografías aéreas por década de estudio. Podemos observar que para el caso 1 (línea azul) existe un incremento constante en el número de viviendas del año 1990 al 2000, a pesar que existe una aumento entre los años 2000 y 2010, éste es menos cuantioso que la década pasada. El caso 2 (línea en rojo) muestra también un aumento constante, pero a partir del año 2000 existe un incremento más notorio y más pronunciado, también podemos observar que rebasa el número de viviendas del caso 1 para el año 2010. Mientras que el caso 3 muestra un aumento constante, prácticamente desde 0 viviendas en el año 1990 hasta aproximadamente 150 viviendas en 2010. Este último caso es el que muestra un aumento mucho mayor con respecto a los demás casos.

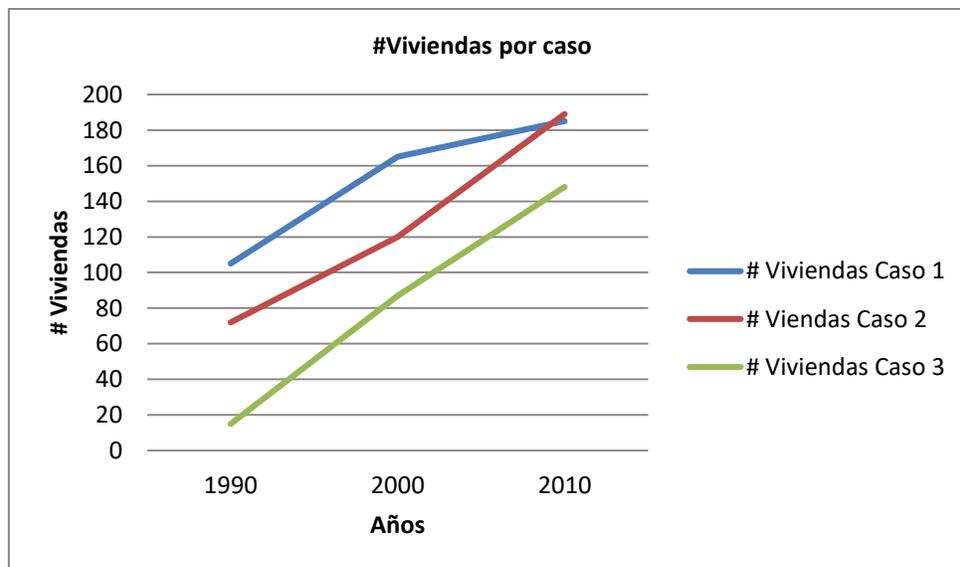


Figura 57. Grafica que muestra el número de viviendas por caso de estudio.

La figura 58 muestra la densidad de población por caso de estudio. Podemos observar que para el caso 1 (línea azul) existe un aumento constante hasta el año 200 y a partir de ese año

disminuye el ritmo de crecimiento. Para el caso 2 (línea en rojo) el aumento de la densidad es más notorio a partir del año 2000, de igual manera que para el caso 3 (línea verde).

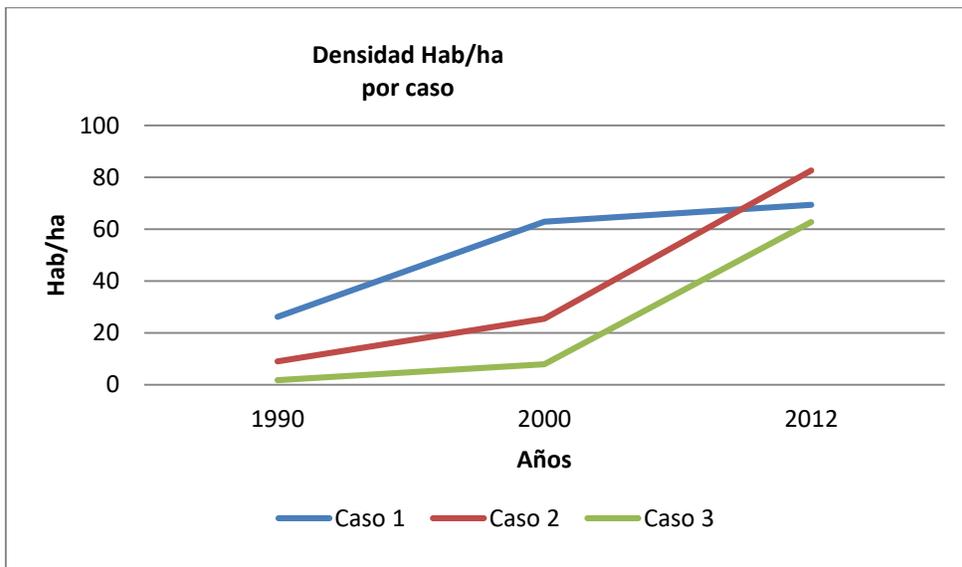


Figura 58. Gráfica que muestra la densidad de población por caso de estudio.

La siguiente gráfica (figura 59) muestra el consumo de agua en Lts/Día/Hab por cada caso de estudio. La información se obtuvo a partir de la recolección de datos en campo y posteriormente sacando promedios con la información del número de viviendas y de ocupantes por vivienda. Se observa claramente que el caso 1 es el de mayor consumo, esto debido tanto al número de viviendas como por la densidad de población y por la dotación de infraestructura. El caso 2 (línea en rojo) muestra, de igual forma que en la gráfica de densidad de población, un aumento más notorio y pronunciado a partir de la década del 2000 de igual forma que el caso 3. Sin embargo, podemos decir que el mayor consumo del caso 1 es debido al nivel de infraestructura de agua potable que existe en este caso. Las viviendas de los casos 2 y 3, son las que cuentan con menor dotación de este servicio, por lo tanto las viviendas tienen que racionar en mayor medida el líquido. Si observamos el número de viviendas del caso 2 (Figura 57 Línea roja) este es mayor que el caso 1, y si observamos el consumo de agua del caso 2, éste es menor que el caso 1, lo que nos muestra que no hay una relación directa entre el número de viviendas y el consumo de agua sino que la relación se da por el número de habitantes.

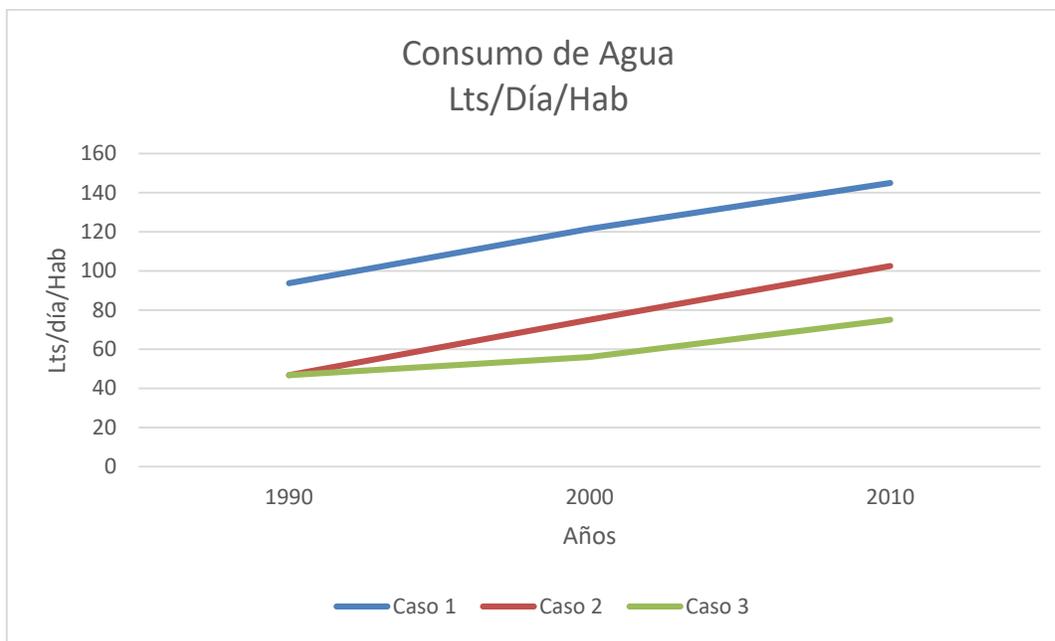


Figura 59. Consumo de agua por caso en Lts/Día/Hab

La figura 60 muestra la gráfica del número de habitantes por caso en relación con el tiempo. Podemos observar que el caso 2 (línea en rojo) tiene un mayor número de habitantes respecto a los demás. Mientras que el caso 1 se estabiliza a partir del año 2000 –característica de zonas urbanas consolidadas y antiguas-, el caso 3 mantiene un crecimiento constante.

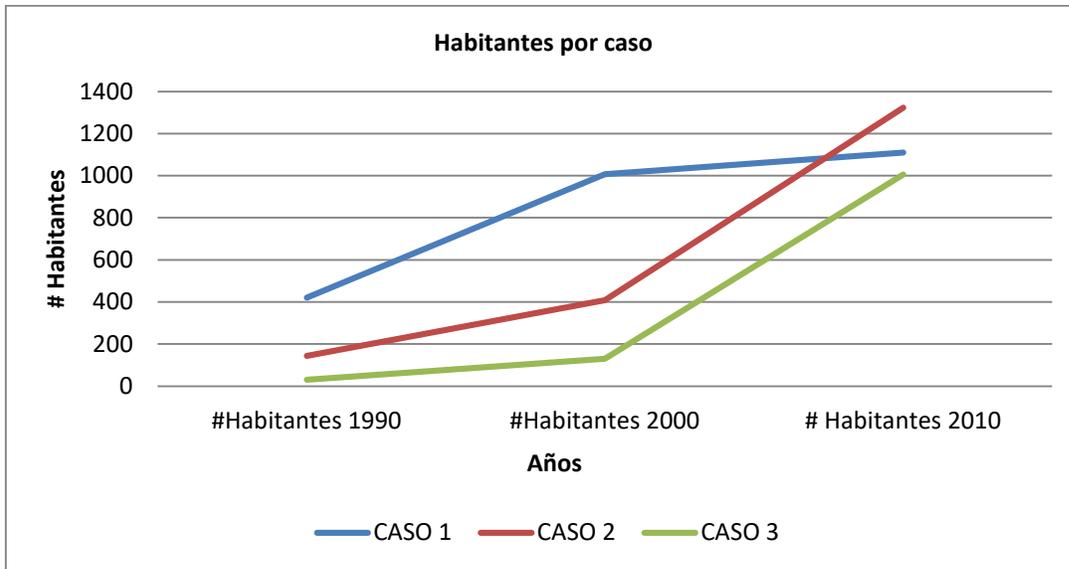


Figura 60. Habitantes por caso de estudio (16 hectáreas).

La figura 61 muestra una primera estimación exploratoria de los residuos producidos por caso, en Kg/día/Hab. La información se obtuvo a partir de comparar los tabuladores de producción de residuos por persona y con observación de campo. A partir de ello se estimó la producción de residuos relacionado con el número de habitantes y el nivel de ingreso. Podemos observar que el caso 1 es el que mayor residuos per cápita produce desde el inicio del periodo de estudio. Esto se debe a que es el caso con mayor ingreso por vivienda, aspecto que está intrínsecamente relacionado a la producción de basura. Mientras que el caso 3 es el que menos residuos produce, sin embargo el incremento en ésta producción es constante en contraste con los casos 1 y 2 en donde se observa una ligera disminución del ritmo de crecimiento a partir del año 2000.

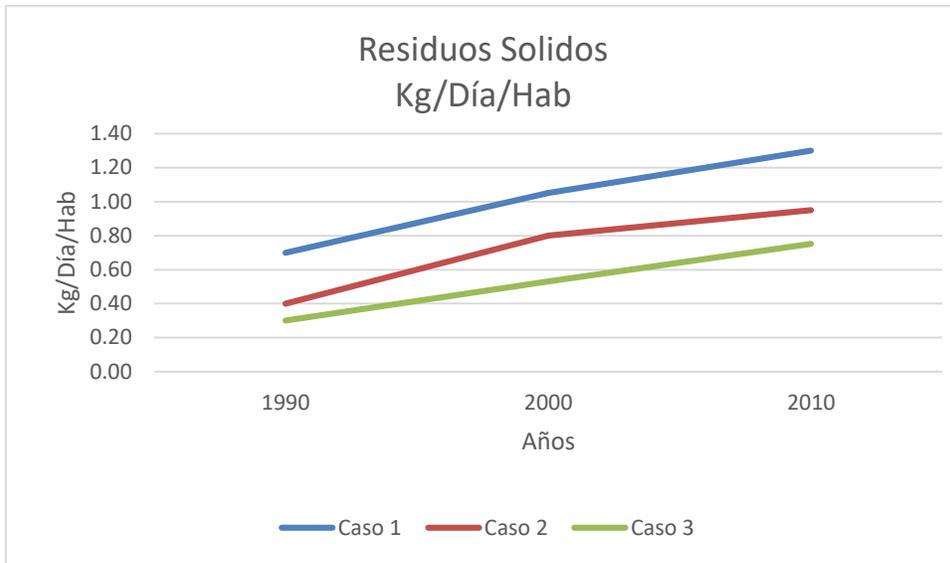


Figura 61. Gráfica de producción de residuos en Kg/Día/Caso.

3.11 Tendencia de cambio en el área sellada y pérdida de recarga del acuífero. Escala regional.

A continuación se muestran las tendencias de cambio en el área sellada y la pérdida de recarga del acuífero que trae consigo estos cambios. La figura 62 muestra el incremento del área sellada versus la pérdida de la recarga del acuífero en $m^3/ha/año$. Se observa claramente que mientras existe un incremento del área sellada, la recarga del acuífero disminuye. Se prevé que la recarga disminuya en $20,250.17 m^3/ha/año$ en esta zona. Lo que demuestra el grave deterioro ambiental que produce el avance de la urbanización, al disminuir el volumen de captación de agua de los mantos acuíferos que proveen del vital líquido a la CDMX.

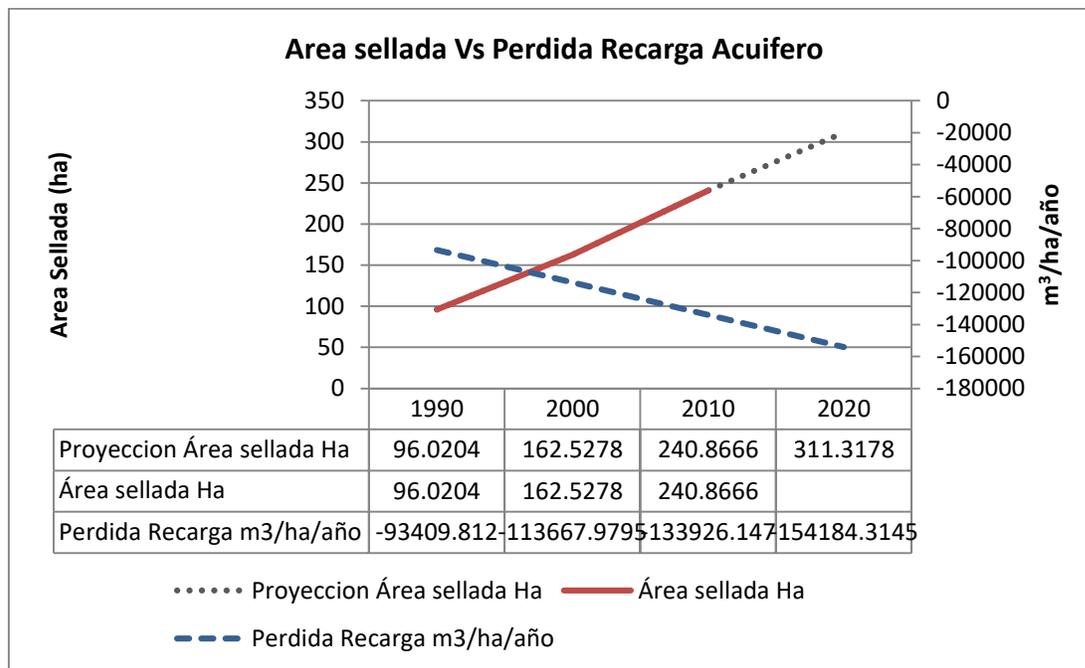


Figura 62. Gráfica que muestra el incremento del área sellada y la pérdida de la recarga del acuífero en relación al tiempo.

3.12 Cruce de variables a escala local. Poblacion Vs Residuos sólidos y líquidos.

Tendencia de cambio en el área sellada y la recarga del acuífero. Estudios de caso.

En cuanto a los casos de estudio, se encontró una clara diferenciación del impacto ambiental producido por la urbanización que está dada por la condición socio-económica de la población, así como por las características urbanas y ambientales. En esta etapa del análisis, se estimaron los residuos producidos por hectárea y el vertido de agua residual. De igual forma, se realizaron proyecciones hacia el año 2020 tanto en la producción de residuos y vertido de agua por habitante en los tres casos de estudio. Así mismo, se estimó la pérdida de la recarga del acuífero como consecuencia del incremento del área sellada.

Caso 1

En el caso 1, los datos arrojados de campo muestran que el vertido de agua residuales domésticas para el año 2010 es de 8047.7 Lts/Día/ha con una densidad de población de 69.37 Hab/ha (Figura 63), y la cantidad de residuos (basura) es de 90.9 kg/día/ha (Figura 64), ambas cantidades son mayores respecto a los demás casos tanto por la cantidad de población como por el nivel de ingreso de las familias asentadas en el caso, con una media por vivienda de 18500 pesos para el año 2010.

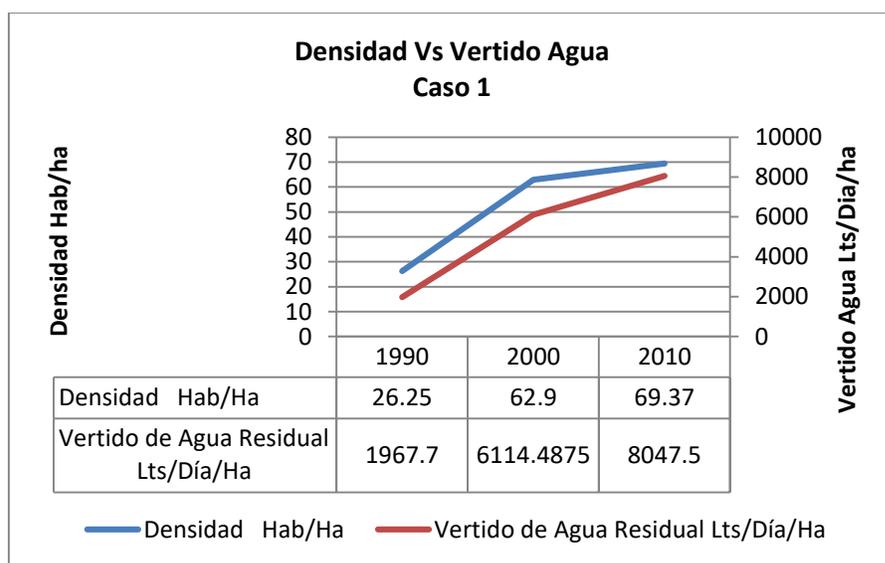


Figura 63. Grafica que muestra la densidad de población y el vertido de agua por hectárea en relación al tiempo para el Caso 1.

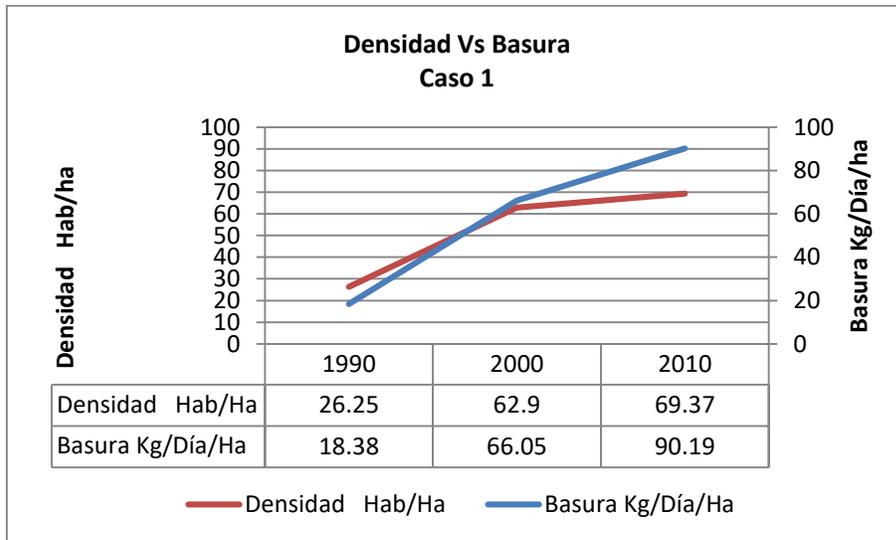


Figura 64. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en relación al tiempo para el Caso 1.

La figura 65 relaciona la densidad de población y el área sellada con el tiempo en el Caso 1. Las líneas de colores muestran el grado de sellamiento que es más “amigable” con el ambiente. Las líneas verdes señalan hasta el 25% de sellamiento. Las líneas amarillas muestran del 25 al 65% de sellamiento las rojas-anaranjadas señalan un sellamiento mayor al 65% lo que implica menor capacidad de infiltración. De acuerdo al porcentaje del área sellada en el caso1, que pasó del 45% en el año 1990 a 65% en el año 2010, la capacidad de filtración hacia los mantos acuíferos de la zona disminuye de 15% de infiltración a un 5%, generando un impacto considerable en la pérdida de recarga de los acuíferos (Ver figura 65). Si bien el caso 1 podría considerarse como uno de los casos más estables en cuanto a su crecimiento demográfico y urbano, el impacto generado en las últimas décadas es considerable.

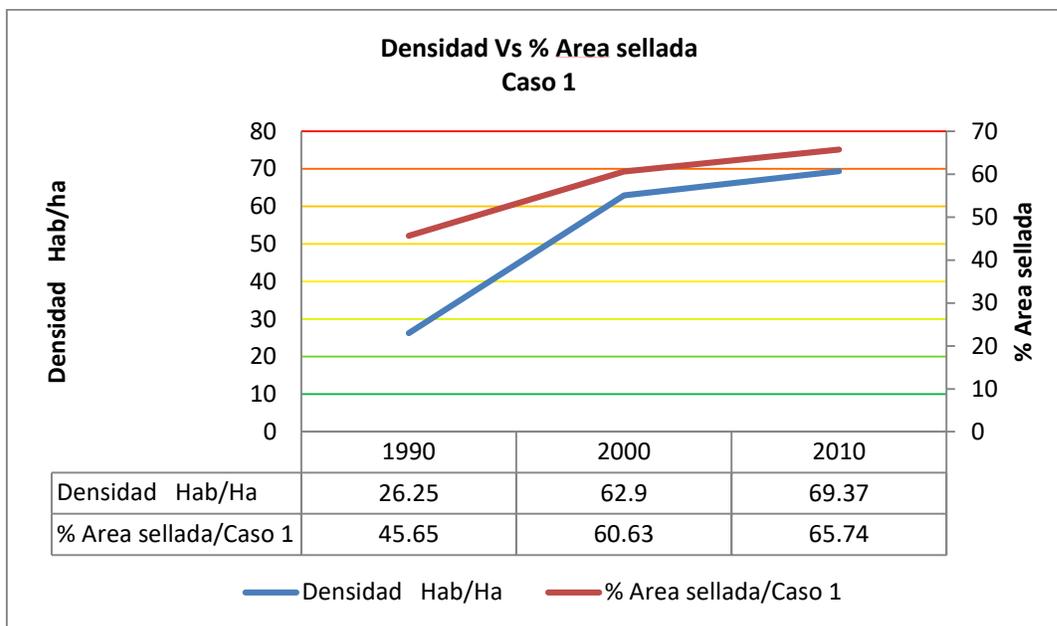


Figura 65. Grafica de Densidad de población Vs área sellada del caso 1.

En la figura 66 se pueden observar las tendencias de crecimiento tanto de la densidad de población como en la producción de basura en Kg/Día/Hab. Para el año 2020, se prevé que la densidad aumente a casi 96 Hab/ha, mientras que la producción de residuos sólidos (basura) aumente a 130 Kg/Día/Ha. Lo que muestra una relativa disminución del ritmo de crecimiento respecto a los años anteriores, es decir existe una estabilización. También, se observa que la cantidad de basura alcanza la línea de crecimiento de densidad de población, lo que indica que la basura va aumentar a pesar que la densidad se estabiliza.

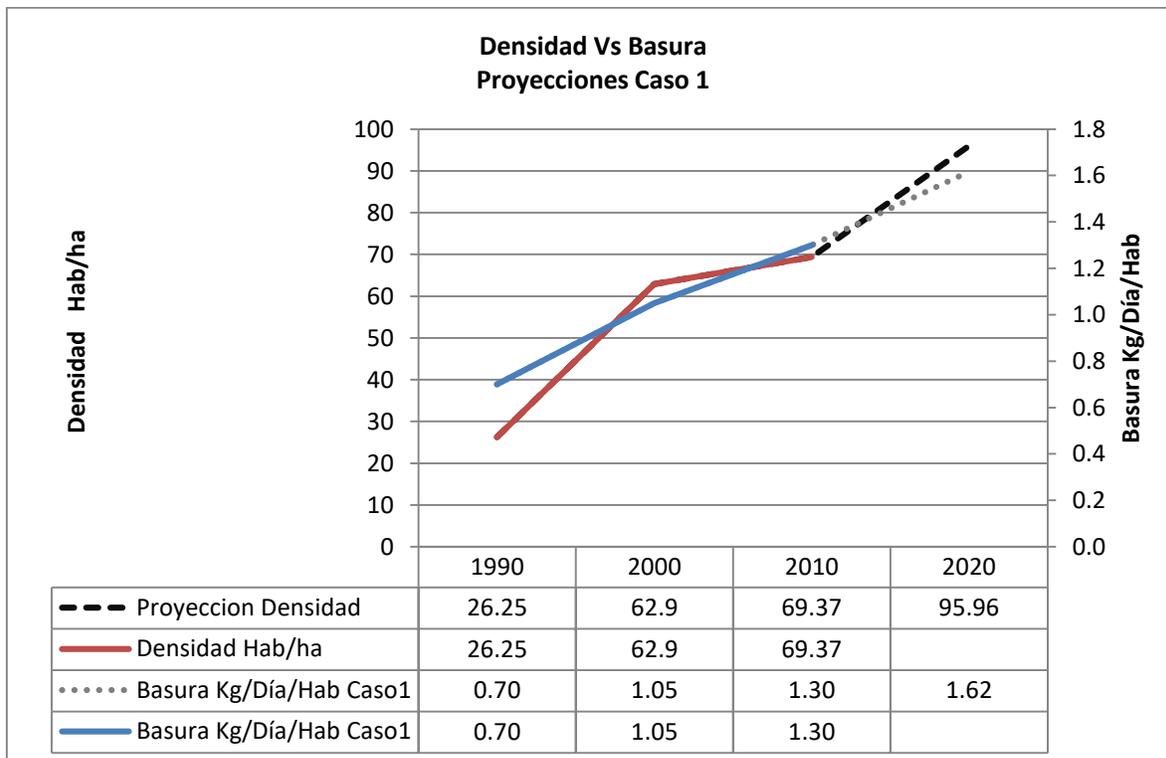


Figura 66. Gráfica de Tendencias de Densidad Vs Basura. Caso 1.

La figura 67 muestra la gráfica de densidad de población versus el vertido de agua residual en el caso 1. Mientras que en el año 1990 existía un vertido de aguade 75 Lts/Día/Hab y una densidad de 26.25 Hab/ha, para 2020 se observa que las dos tendencias se unen lo que muestra que el vertido de agua incrementa en cantidad sin importar la densidad de población, se estimó que habrá un vertido aproximado de 137 Lts/Día/Hab y una densidad aproximada de 96 Hab/ha.

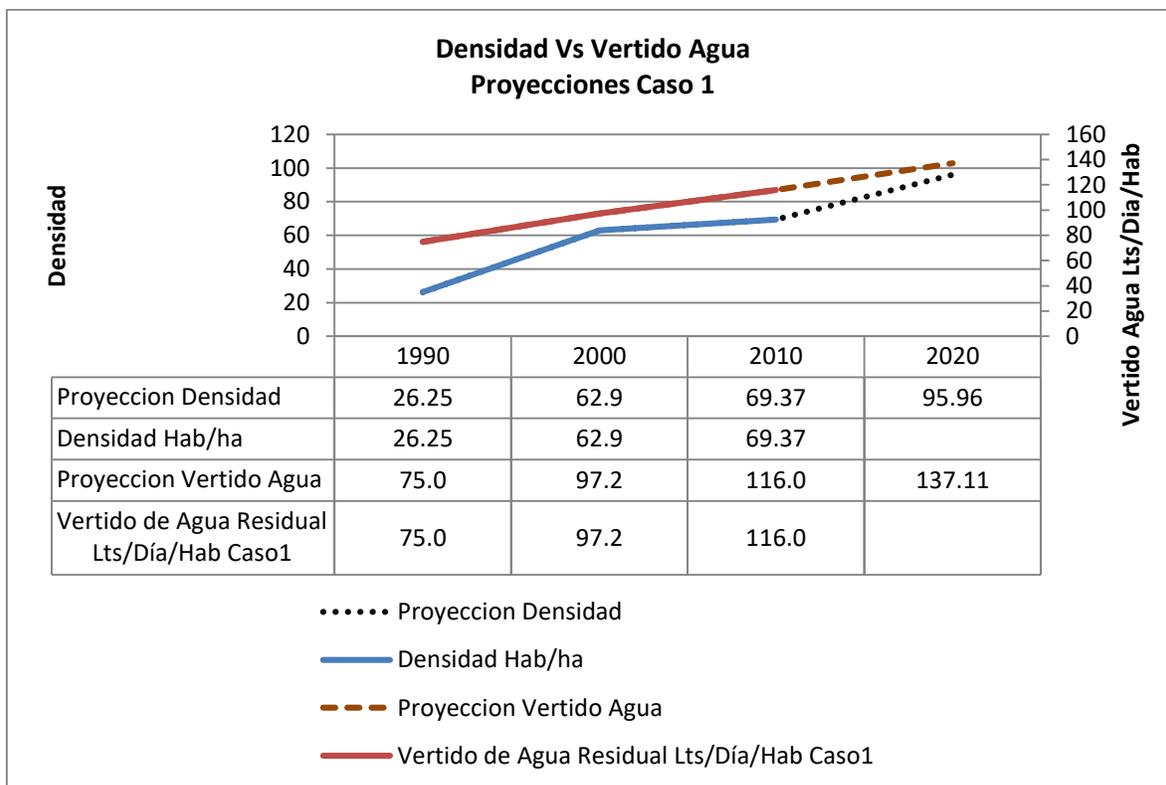


Figura 67. Gráfica de Tendencias de Densidad Vs Vertido de agua. Caso 1.

La gráfica de tendencia del área sellada, área libre para recarga del acuífero y la recarga del acuífero en $m^3/ha/año$, se muestra en la figura 68. De tal manera que podemos observar claramente la tendencia de disminución de la recarga del acuífero, que en este caso, para el año 2020 será de aprox. $5940 m^3/ha/año$. A pesar de ser el caso más estable en cuanto a crecimiento demográfico, se observa un aumento en el porcentaje del área sellada, en el vertido de agua y la producción de residuos. En este caso, la pérdida de la recarga del acuífero pasará de $9231 lts/ha/año$ en el año 2010 a $5940 lts/ha/año$ para el año 2020, lo que significa una pérdida de $3291.45 m^3/ha/año$.

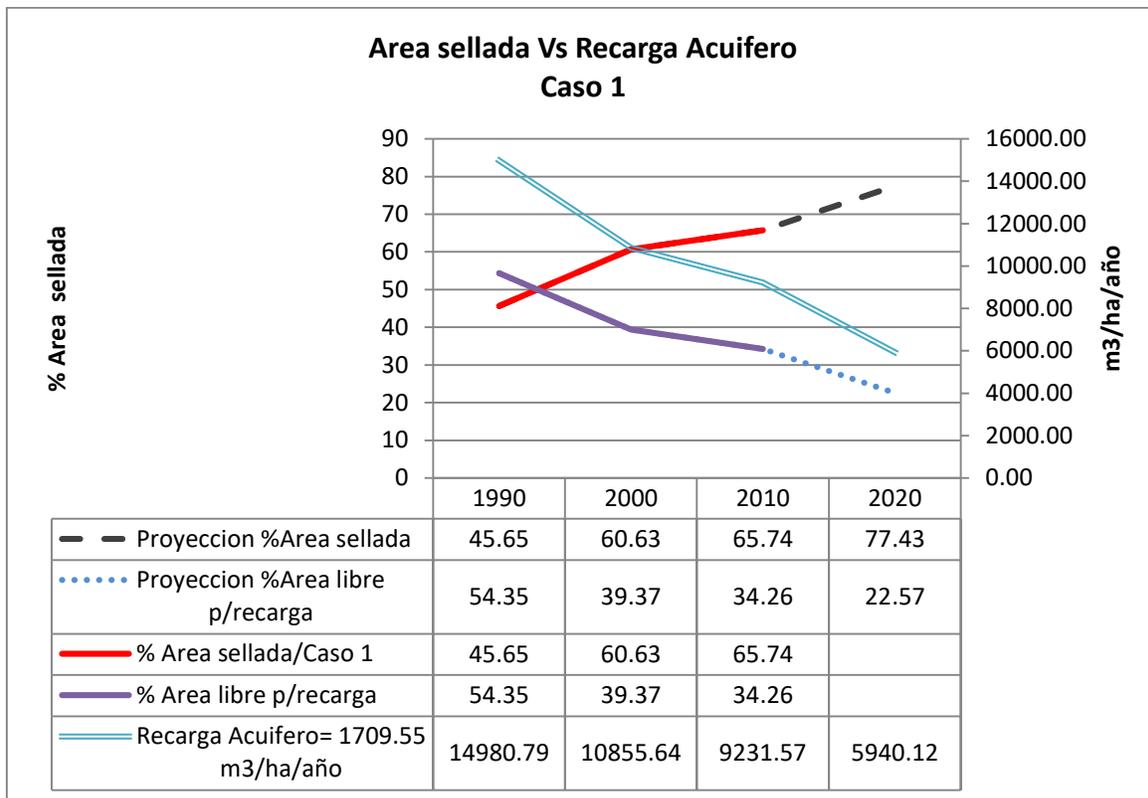


Figura 68. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m³/ha/año para el Caso1.

Caso 2

El caso 2, es de un nivel socioeconómico menor respecto al caso 1, con una media de salario para el año 2010 de 13360 pesos por vivienda. Con el dato anterior y la investigación de campo, se obtuvo que el vertido de agua residual disminuye en cantidad respecto al caso uno. Para el año 2010 se vierten 6789 Lts/Día/ha hacia el río borracho, para tal año la densidad de población es mayor respecto al caso 1 con 82.64 Hab/ha (Figura 71), mientras que se producen 78.55 Kg/Día/Ha (Figura 69).

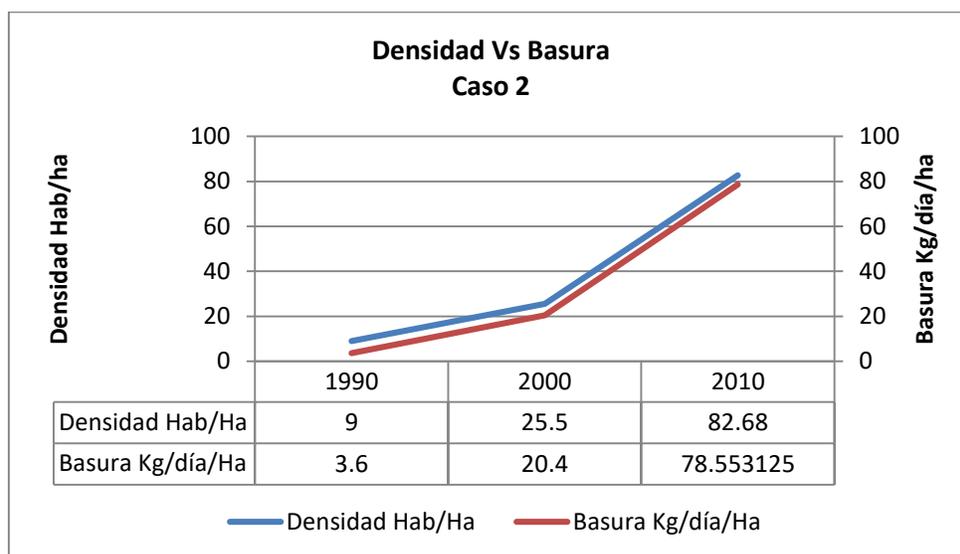


Figura 69. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en relación al tiempo para el Caso 2.

De acuerdo al porcentaje de área sellada, el Caso 2, pasó de 16% en el año 1990 a 52.62%, disminuyendo la capacidad de filtración de 21% a 5% (Figura 70). En este caso, claramente existe un porcentaje menor de sellamiento dado que es un área en proceso de expansión, también es un área con caminos aún sin pavimentar.

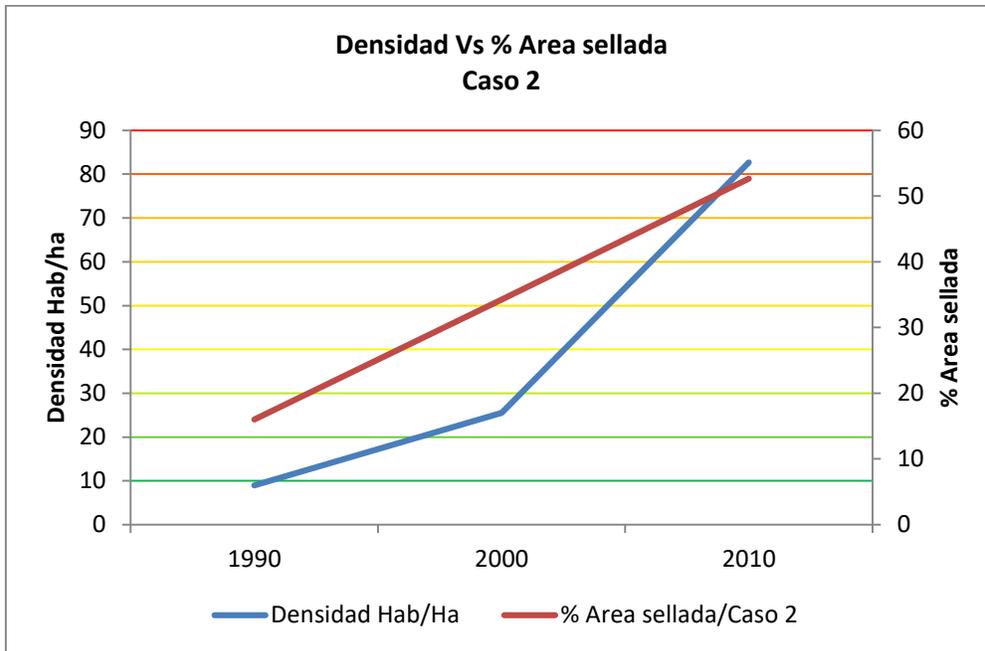


Figura 70. Grafica de Densidad de población Vs área sellada en el Caso 2.

La figura 71 muestra la gráfica de tendencia de densidad de población versus el vertido de agua residual en Lts/Día/Hab en el Caso 2. En esta grafica se observa que para el año 2020, la densidad rebasará los 100 hab/ha para ubicarse en 112.74, lo cual es una densidad alta para las periferias de la ciudad. Mientras que la proyección del vertido de aguas residuales se ubicaría en 104 Lts/Día/Hab.

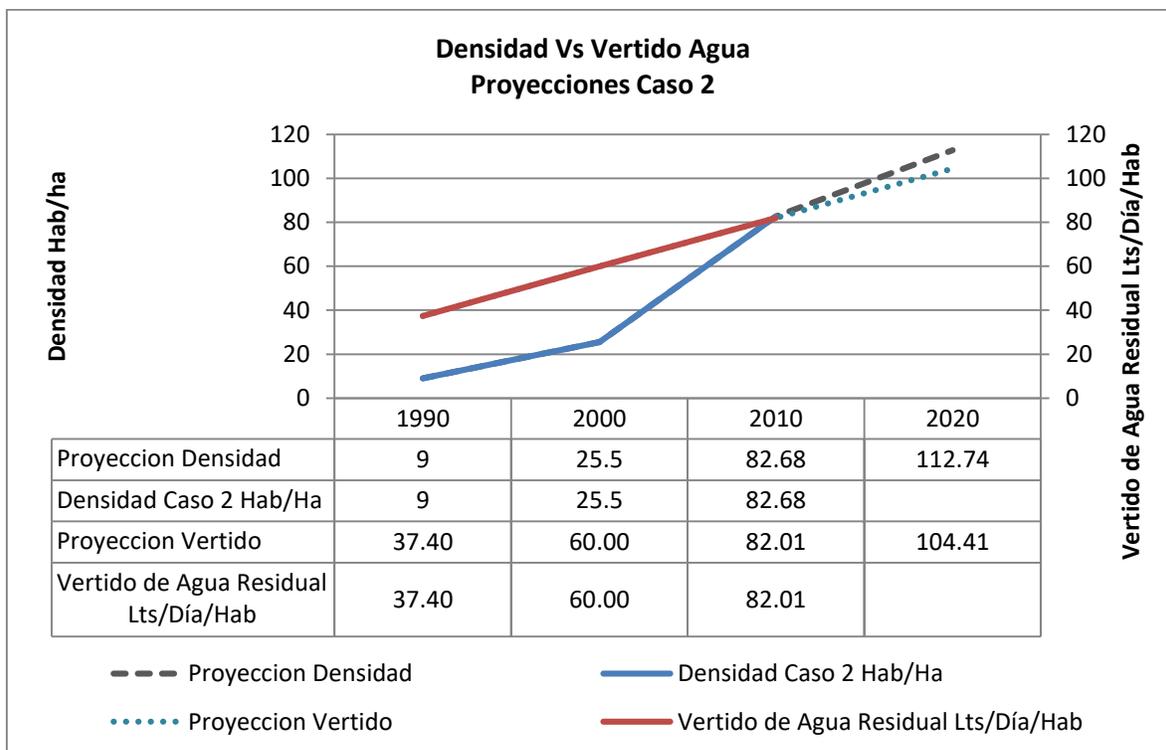


Figura 71. Grafica de tendencia de Densidad Vs Vertido de Agua para el Caso 2.

La figura 72 muestra las gráficas de tendencia de densidad de población versus producción de basura para el Caso 2. Se observa un comportamiento similar de crecimiento a la gráfica anterior, sin embargo la línea de la producción de basura tiende a ir paralelamente a la densidad de población. Para el año 2020 se estimó una producción de basura de 1.27 Kg/Día/hab, lo que se puede considerar un incremento bastante significativo.

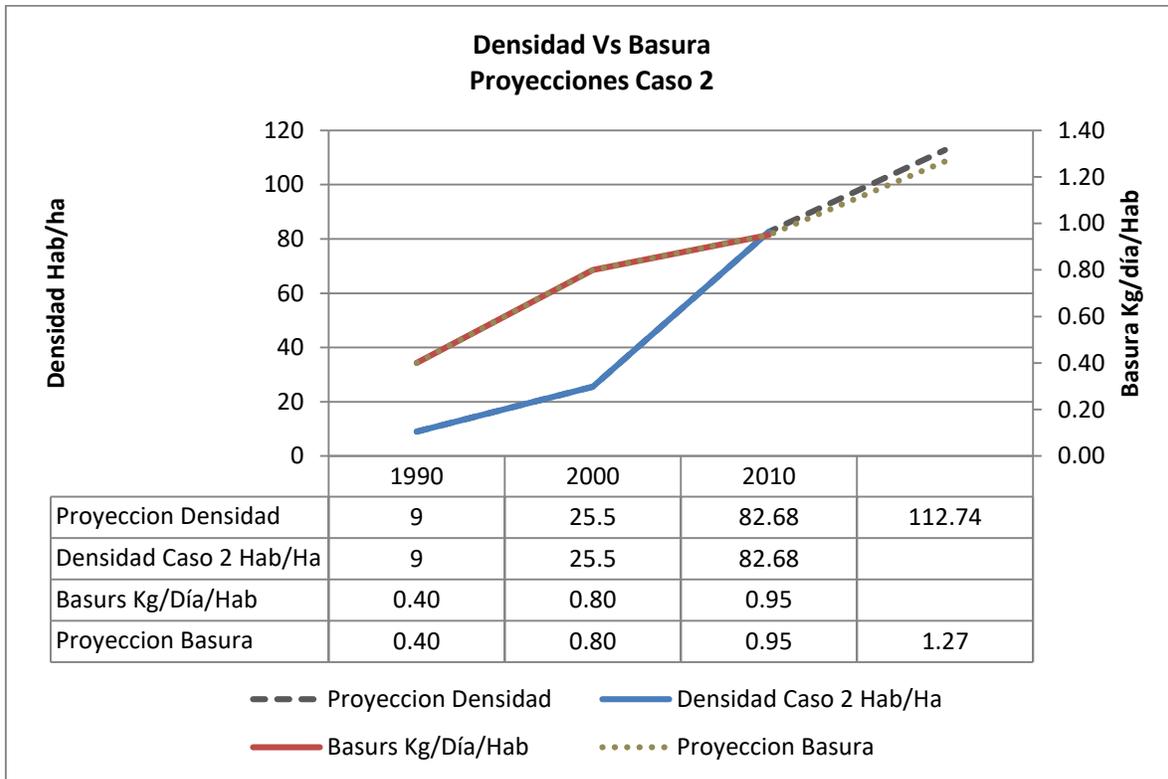


Figura 72. Gráficas de tendencia de densidad de población Vs Basura. Para el Caso 2.

La figura 73 muestra la gráfica de tendencia del porcentaje de área sellada y área libre versus la recarga del acuífero del caso 2. Siendo este un caso de menor ingreso respecto al caso 1, se observa una tendencia clara al aumento del área sellada, que para 2020 será de 70.95 %, disminuyendo su capacidad de filtración hacia los mantos acuíferos de 12947 m³/ha/año a 7939 m³/ha/año, lo que significa una pérdida de 5,008.01 m³/ha/año hacia los mantos freáticos.

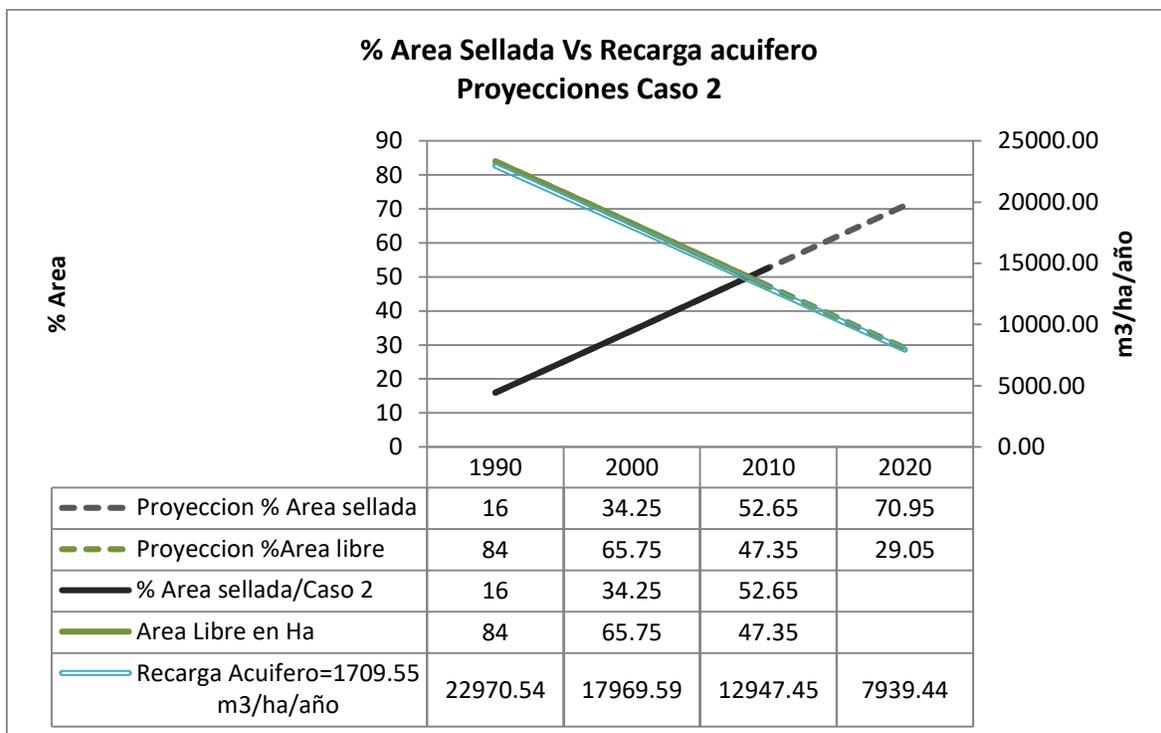


Figura 73. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m3/ha/año. Caso 2.

Caso 3

El caso 3, es el caso con menor nivel socio-económico y con un nivel bajo de servicios urbanos, es decir que en la mayoría de su territorio no tiene pavimentación ni banquetas, carece de drenaje tanto pluvial y doméstico, entre otros servicios. Es el caso que representa con mayor claridad un proceso acelerado de expansión urbana. En este caso, la mediana de salario por vivienda para el año 2010 fue de 10,500 pesos. El vertido de agua residual para el año 2010 resultó de 3772.5 Lts/Día/ha (figura 74). Mientras que la producción de basura para el mismo año fue de 47.15 Kg/Día/ha (figura 75).

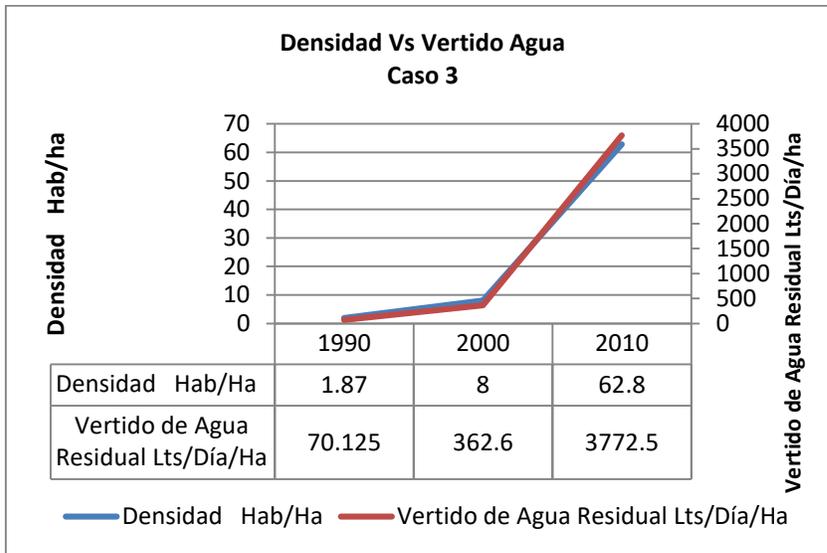


Figura 74. Gráfica que muestra la densidad de población y el vertido de agua residual por hectárea en relación al tiempo para el Caso 3.

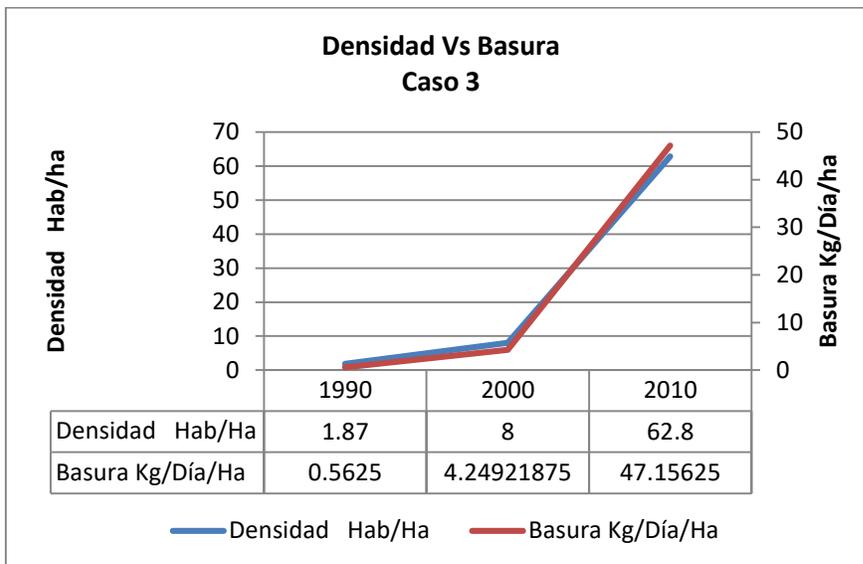


Figura 75. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en el caso 3. Elaboración propia

En cuanto al área sellada, hubo un aumento muy significativo de 3.97% en el año 1990 a 57.3% para el año 2010 (Figura 76). Prácticamente pasó de una capacidad de filtración “normal” de 25% a una capacidad muy reducida de 5%. Lo que nos demuestra una pérdida muy grande en un lapso de 20 años.

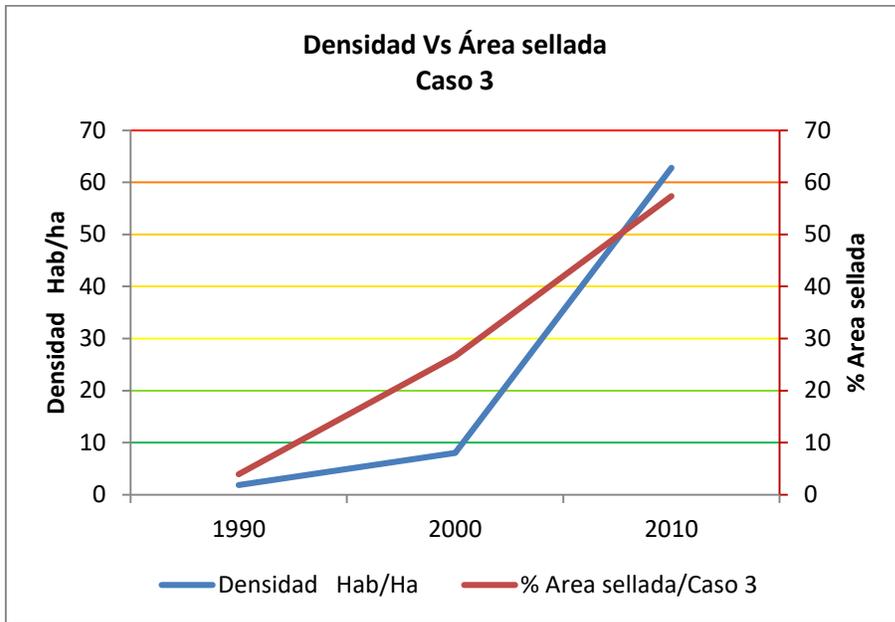


Figura 76. Grafica de Densidad de población Vs área sellada del caso 3.

La figura 77 muestra la gráfica de tendencia de densidad vs basura del Caso3. Se prevé que para el 2020 la densidad del caso 3 sea de 85.15 habitantes por hectárea, mientras que la producción de basura será de 0.98 Kg/Día/Hab, lo que también se puede considerar como un incremento importante dado el aumento de la densidad de población en esta zona.

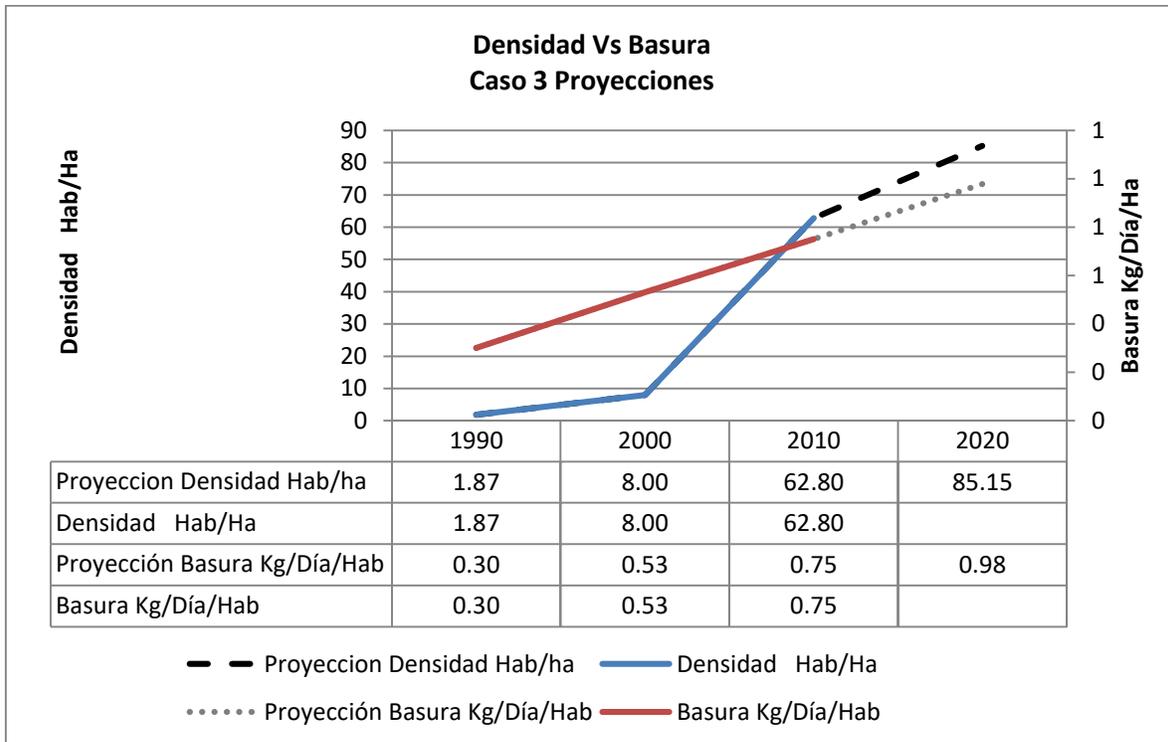


Figura 77. Grafica de tendencia de Densidad Vs Basura. Caso 3.

La figura 78 muestra la gráfica de tendencia de la densidad de población Vs el vertido de agua del caso3. Se observa que a tendencia del vertido de agua para el año 2020 será de aproximadamente 70 Lts/Día/Hab y la densidad de población se estimó en 85.15 Hab/ha. Es evidente que el vertido de agua residual tiende a aumentar por encima de la densidad de población.

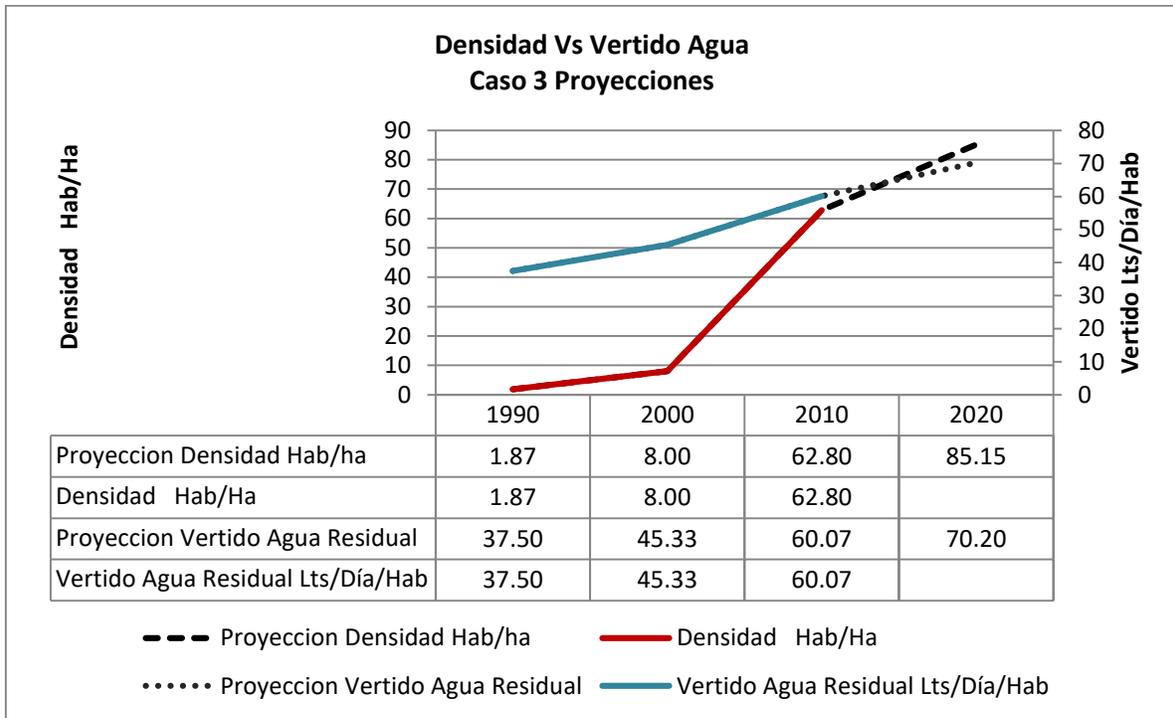


Figura 78. Grafica de tendencia de Densidad Vs Vertido de Agua. Caso 3.

La figura 79 muestra la gráfica de tendencia del área sellada y área libre versus la recarga del acuífero en el caso 3. Este caso es el que tiene un comportamiento más dramático dado que pasa de casi 0% de área sellada en el año 1990 a 57.35% en el 2010 y se prevé que para el año 2020 tenga una superficie sellada de 82.72%, lo que demuestra un rápido crecimiento urbano en poco tiempo. Por lo que la recarga del acuífero en este caso se ve muy afectado, de continuar con la tendencia de crecimiento, se prevé que para el año 2020 disminuya casi totalmente su capacidad de filtración.

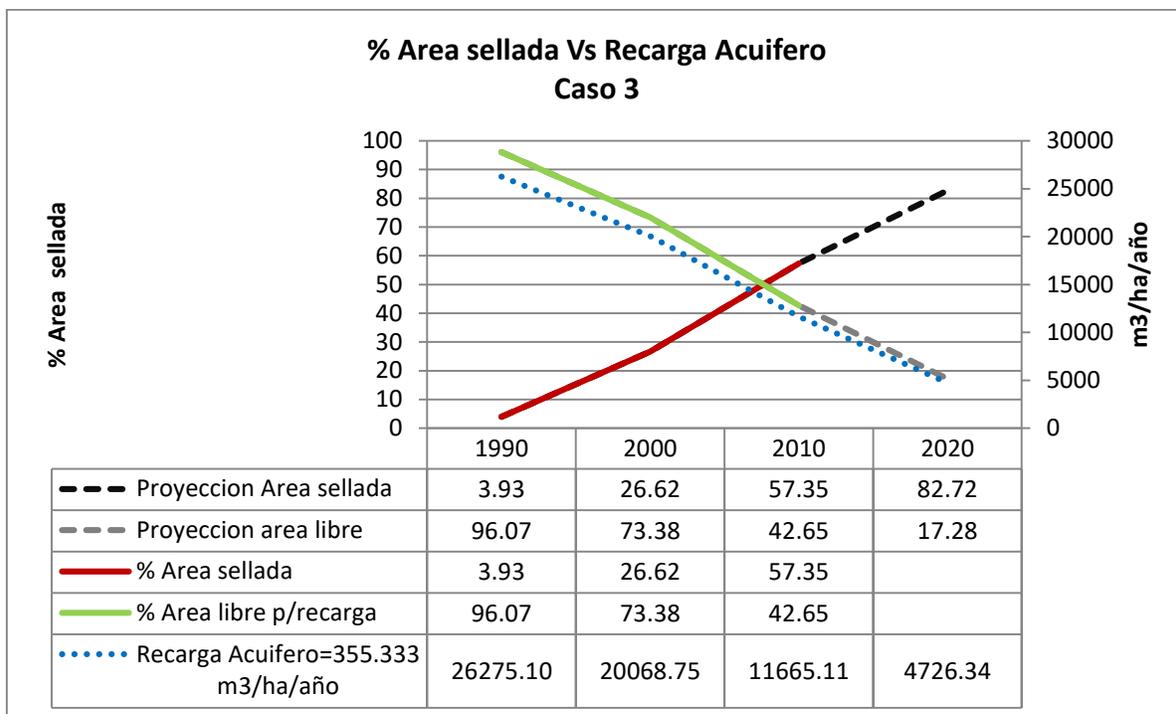


Figura 79. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m³/ha/año. Caso 3.

En resumen, la figura 80 muestra una serie de gráficas que cruzan información referente a la densidad de población con la producción de basura, el vertido de agua y el área sellada de los tres casos de estudio. De tal manera que en la primera fila se muestra la densidad de población y la producción de residuos en relación al tiempo. En el caso 1 se observa un incremento de ambas variables y para el año 2000 disminuye un poco esta tendencia debido a la desaceleración del incremento de la población. Para el caso 2 el aumento de éstas variables mantiene una misma tendencia, mientras que para el caso 3, el incremento de ambas es mayor a partir del año 2000.

En relación a las variables de densidad de población y el verido de agua en lts/hab/día (segunda fila figura 62) el caso 1 muestra un comportamiento similar respecto a la relación de densidad/basura (kg/hab/día). De igual forma el caso 2 muestra un incremento a partir del año 2000. Finalmente el caso 3 también muestra el mismo comportamiento, para el año 2000 existe un mayor incremento del consumo de agua, a la par que el crecimiento de la densidad de población.

Las gráficas de las variables de densidad y área sellada muestran una tendencia de incremento similar a las gráficas anteriores. Claramente en los casos 2 y 3 a partir del año 2000 es cuando existe un incremento de ambas variables, mientras que en el caso 1 disminuye esta tendencia.

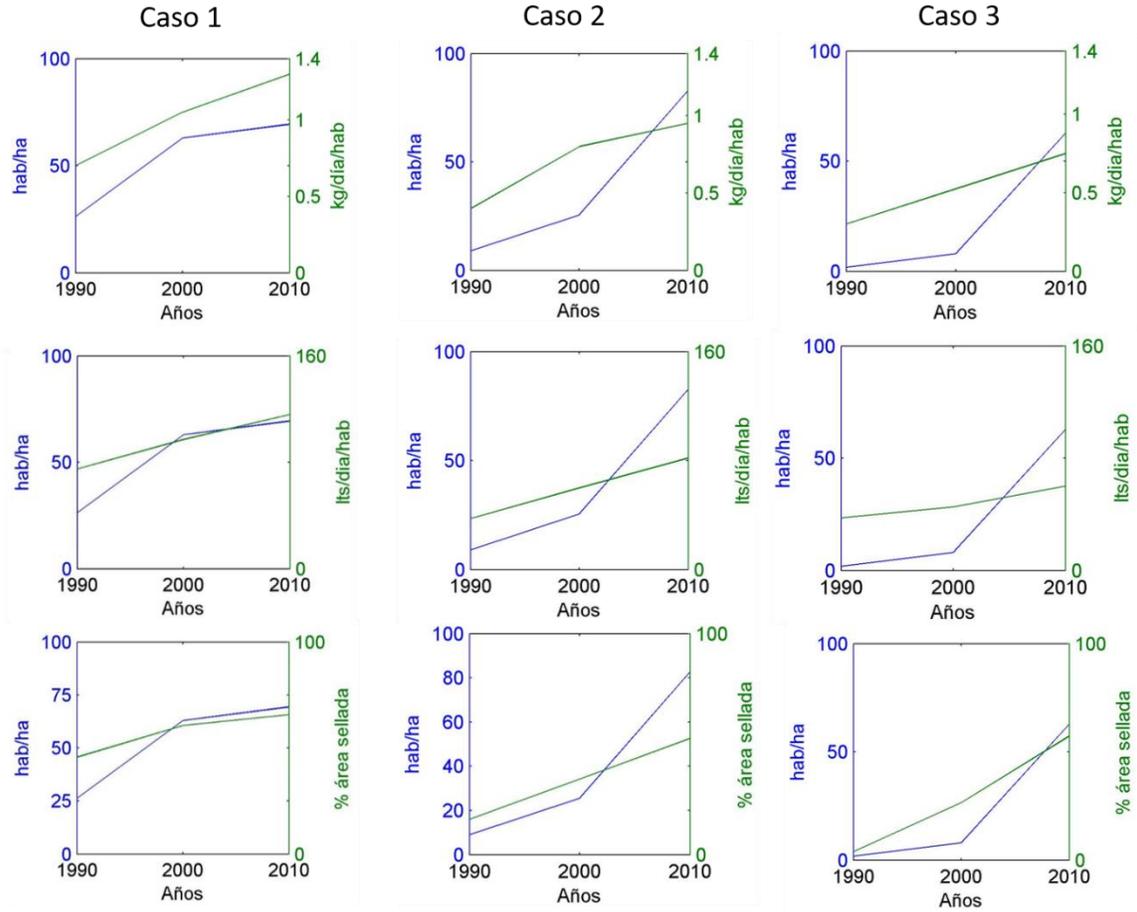


Figura 80. Gráficas de densidad de población vs producción de basura, vertido de agua residual y área sellada por caso de estudio.

3.13 Análisis multivariado

En un primer paso, se ordenaron todos los datos recabados en campo en una matriz; en este sentido se asignaron valores 0 y 1 para las variables categóricas, lo cual implicó una reestructuración de la matriz inicial. Quedando así, una matriz con 63 variables y 32 muestras. Posteriormente se hizo un análisis de clúster con sus respectivos dendrogramas obteniendo así los siguientes resultados.

Análisis de clúster 1

El análisis exploratorio de clúster realizado pretende agrupar las variables utilizadas. La figura 81 muestra el dendrograma obtenido. Si trazamos una línea con un índice de similaridad de 65% aproximadamente (línea en rojo), encontramos que se generan 12 grupos distintos de variables (ver números del lado izquierdo en la figura 81). Los conglomerados más relevantes son los siguientes; el grupo 1 junta las variables de: vulnerabilidad baja, viviendas construidas con acabados y sin acabados, viviendas de 2 niveles, perturbación media, pavimentación sin banquetas, provisión de agua con toma domiciliaria, alumbrado, drenaje (al río), y cantidad de basura baja. Lo que significa que existe una relación entre estas variables; por ejemplo, entre perturbación media y el grado de infraestructura (pavimentación sin banquetas, provisión de agua potable, drenaje al río, cantidad de basura baja en el entorno, y con viviendas de dos niveles construidos, entre otros aspectos. Por otro lado, el grupo 2 relaciona las siguientes variables: cantidad de basura alta, perturbación alta, vulnerabilidad media, pavimentación de adoquín y viviendas de un nivel, lo anterior muestra que también existe una relación y coherencia con las variables agrupadas. Podemos encontrar que se pueden relacionar las variables de perturbación alta, con vulnerabilidad media, pavimentación de adoquín, cantidad de basura alta, viviendas de 1 nivel, entre otros aspectos. Otro grupo es el 3; que incluye la producción de Residuos sólidos, el número de trabajadores y el número de habitantes y familias, lo que nos muestra que existe una relación entre estas variables, es decir, entre el número de familias y trabajadores con la producción de residuos. El grupo 4 concentra variables relacionadas con zonas de alta vulnerabilidad, calidad de la vivienda baja, viviendas construidas con materiales precarios y con fuentes de abastecimiento de agua comunes (grandes cisternas al pie de la barrancas), y zonas que cuentan con baja

infraestructura urbana, es decir calles de terracería, sin alumbrado. El grupo 5 relaciona las variables de perturbación baja con depósito local de residuos. Por otro lado el grupo 9 relaciona las superficies de los lotes con el consumo de agua. Otro grupo que se genera diferente a los demás es el grupo 12 que es el de los ingresos en los años de estudio.

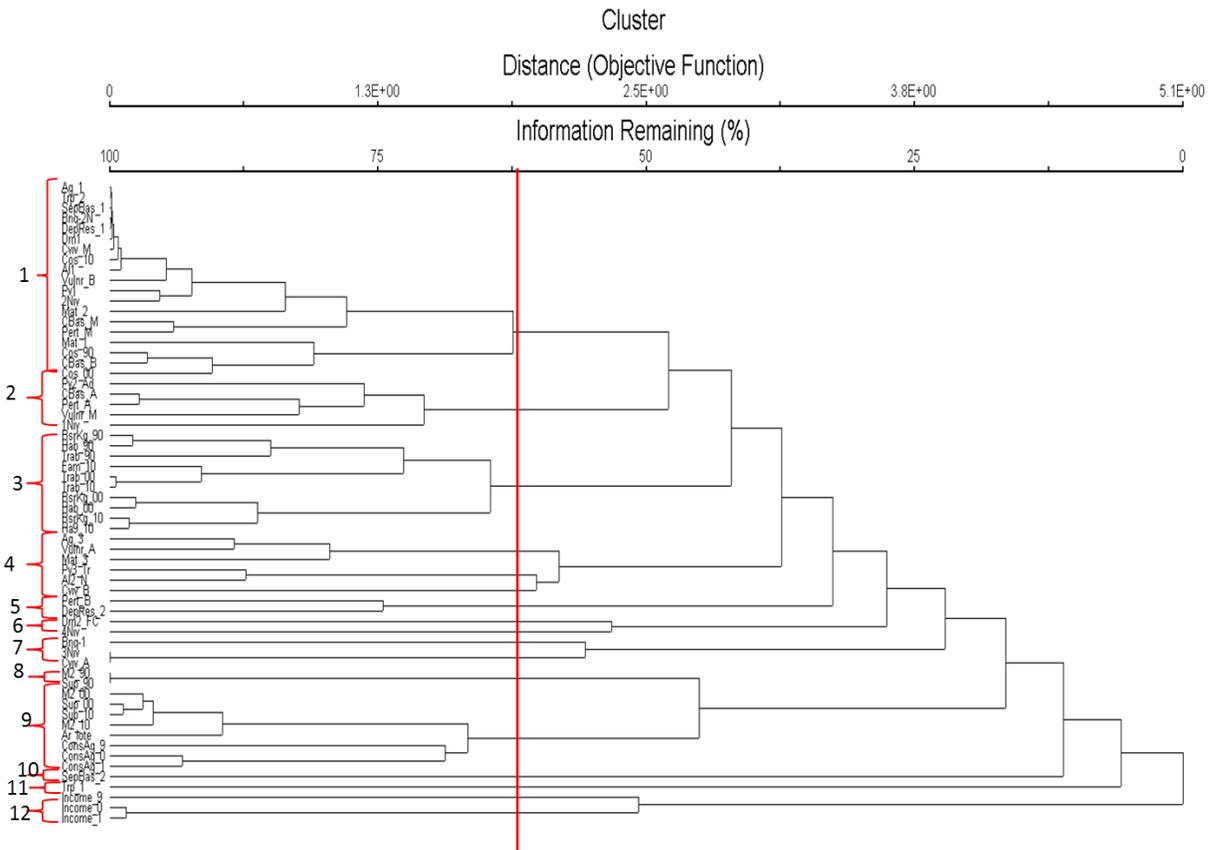


Figura 81. Dendrograma de variables resultante del análisis de clúster.

Por otro lado, se realizó otro análisis de clúster para agrupar las muestras o, en este caso, las viviendas encuestadas (figura 82). En este caso, de igual forma si se realiza un corte con un índice de similitud aproximadamente de 70 y se generan 8 grupos principales. El primer grupo junta 7 muestras del caso 1 con tres muestras del caso 2 y dos muestras del caso 3 lo que nos revela que existen muestras con aspectos similares dentro de los tres casos de estudio. El grupo 2 muestra 3 casos del caso 3 y 2 casos del caso 2. El grupo 8 relaciona dos viviendas del caso 2 con una vivienda del caso 3. Y por otro lado existen 2 viviendas del caso 3 que son disímiles a las demás.

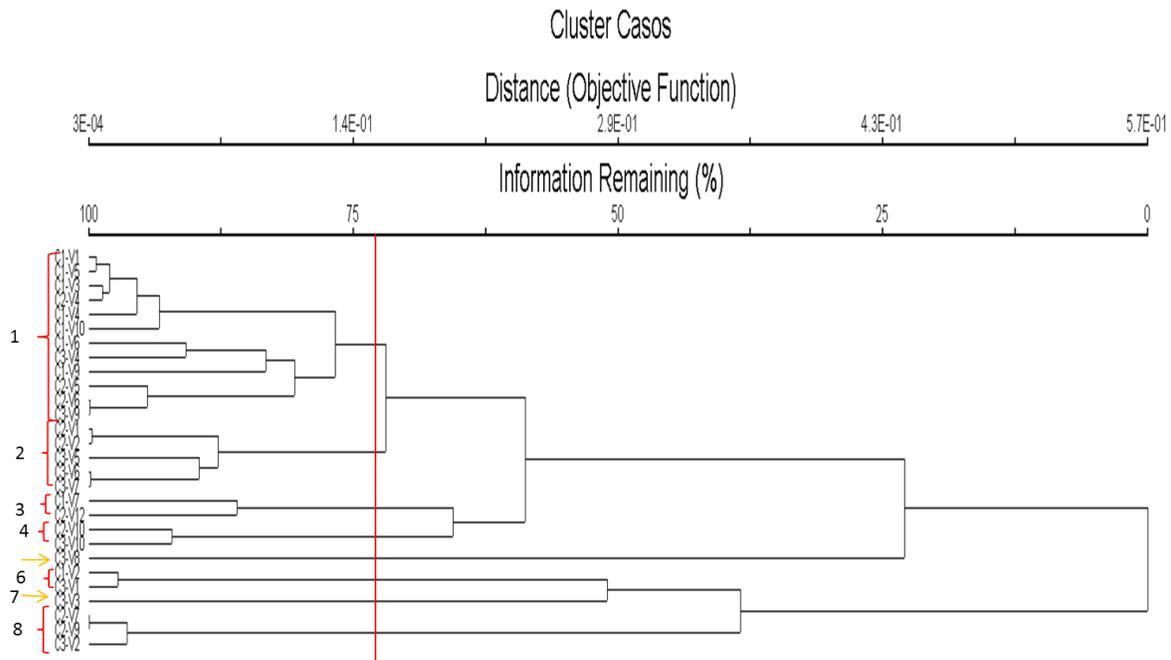


Figura 82. Dendrograma del análisis de clúster con las viviendas.

Análisis de componentes principales

Se realizó un primer análisis exploratorio de componentes principales con su respectiva grafica de ordenación. La figura 83 muestra la gráfica de ordenación obtenida después del primer análisis de componentes principales. Los puntos indican el caso y la vivienda encuestada, por ejemplo, el punto C1-V1, indica la encuesta realizada en el Caso1 y la Vivienda 1, el punto C2-V2 indica la encuesta realizada en el Caso 2 en la Vivienda 2, y así sucesivamente para el C3-V1, etc. En la figura 83 podemos observar que se generan 4 grupos principales señalados en círculos en rojo. Las flechas amarillas señalan las muestras que se alejan de los grupos, es decir muestran aspectos que no son similares a las demás. Los puntos cercanos entre sí significan que son muestras similares o que comparten ciertas características.

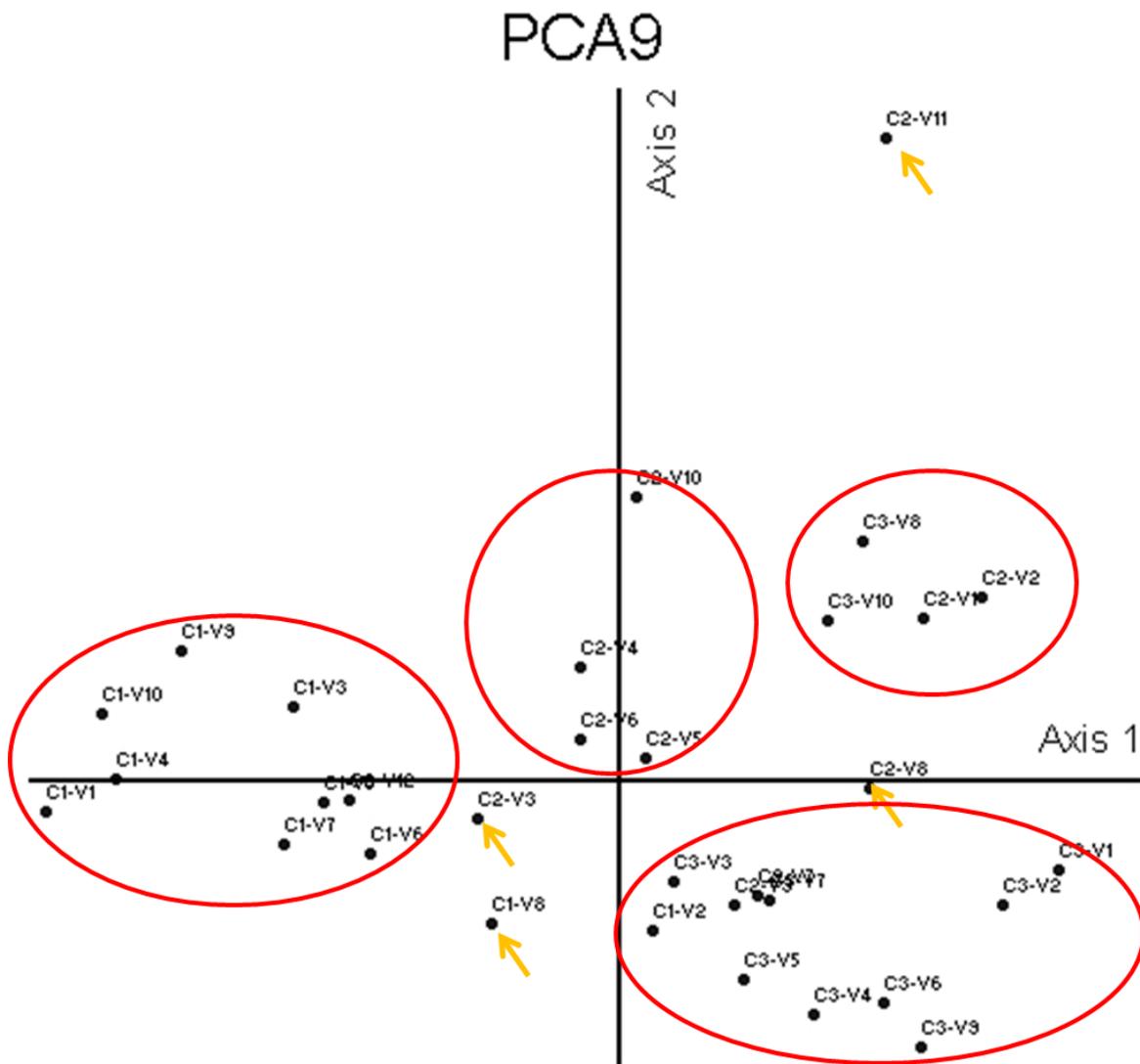


Figura 83. Gráfica de ordenación del análisis de componentes principales. Los puntos representan las viviendas encuestadas.

Como conclusión de este análisis, las viviendas del caso 1 son las que comparten más características dado que se agrupan en uno de los grupos principales. Por el contrario, las viviendas del caso 2 y del caso 3, se encuentran distribuidas en diferentes grupos, lo cual sugiere que algunas de las viviendas encuestadas en estos casos no comparten las mismas características y son diferentes entre sí, sin embargo existen viviendas del caso 2 y 3 que tienen características similares y se agrupan en otros componentes.

Análisis DCA

En el análisis de correspondencia sin tendencia se obtuvo la figura 84 como resultado. De ahí se agruparon las variables y se obtuvieron los promedios y la desviación estándar de cada grupo para obtener así la variable que representa a cada grupo. Resultó que las variables que representan a cada grupo son: El número de trabajadores, los metros cuadrados construidos, el depósito de residuos y la cercanía de transporte. Dichas variables son las fuerzas motoras del cambio, las que producen el cambio en el uso de suelo, las que generan la transición en la urbanización de la periferia.

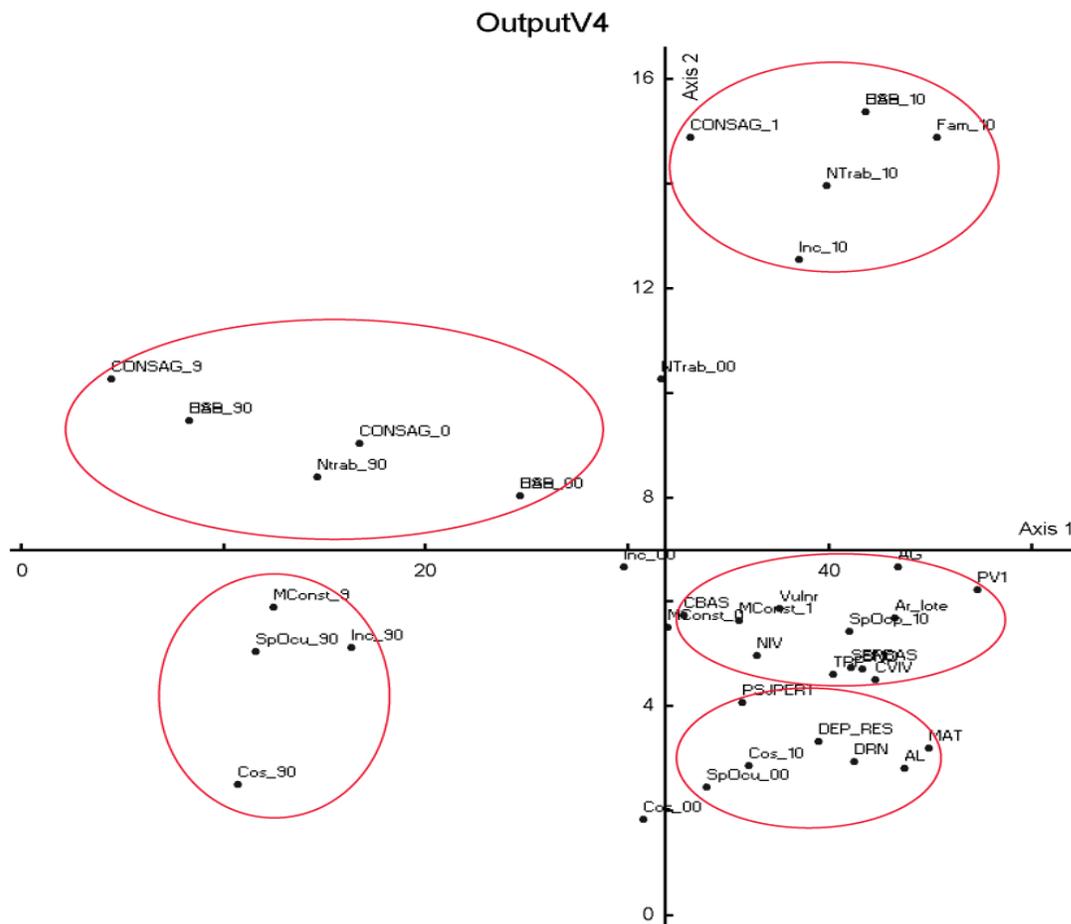


Figura 84. Gráfica de ordenación resultante del análisis de correspondencia sin tendencia. DCA.

3.14 Análisis de fragmentación escala Regional 1:25,000.

Se obtuvieron mapas del análisis de fragmentación (Figura 85, 86 y 87) para la escala de trabajo regional en los años 1989, 1999 y 2010 respectivamente. Así como sus respectivos datos en relación al número de parches, distancia promedio de parches y desviación estándar del tamaño de los parches de bosque. Se utilizó una herramienta elaborada por el College of Agriculture and Natural Resources Center of Land Use Education and Research (CLEAR) (CLEAR 2014). Las definiciones de las categorías utilizadas son las siguientes (Hurd: 2010):

Bosque: Áreas de bosque que están relativamente lejos de los límites entre bosque y No bosque

Pequeñas áreas: < 100 ha

Medianas: 100-200 ha

Grandes > 200 ha

Bosque perforado: Áreas de bosque que son las zonas de transición entre la cubierta del bosque y áreas perforadas de bosque. En este caso, el bosque perforado se muestra como el área naranja, que es una franja de 100 metros entre el bosque perforado y la cubierta forestal.

Ejes: Áreas que definen el límite o zonas de transición entre el bosque y áreas de no bosque

Parches de Bosque: Los parches de bosque son pequeñas áreas de bosque rodeadas de zonas de No bosque. Estas zonas están caracterizadas por estar rodeadas al menos por 100 metros de áreas sin bosque.

3.14.1 Fragmentación año 1989

En la figura 85, podemos observar el mapa del análisis de fragmentación para el año de 1989. Se observa que dentro de la zona agrícola existen zonas de bosque de menos de 1 km con sus respectivas zonas de transición en amarillo. En rojo podemos observar los parches de bosque rodeados de zonas de no bosque que se ubican en la zona agrícola. En ésta década existen grandes parches de bosque fragmentados por zonas de transición y bosque perforado (líneas naranjas). Así mismo, permanecen 2 parches de bosque mayores a 2 km cuadrados como lo muestra la imagen.

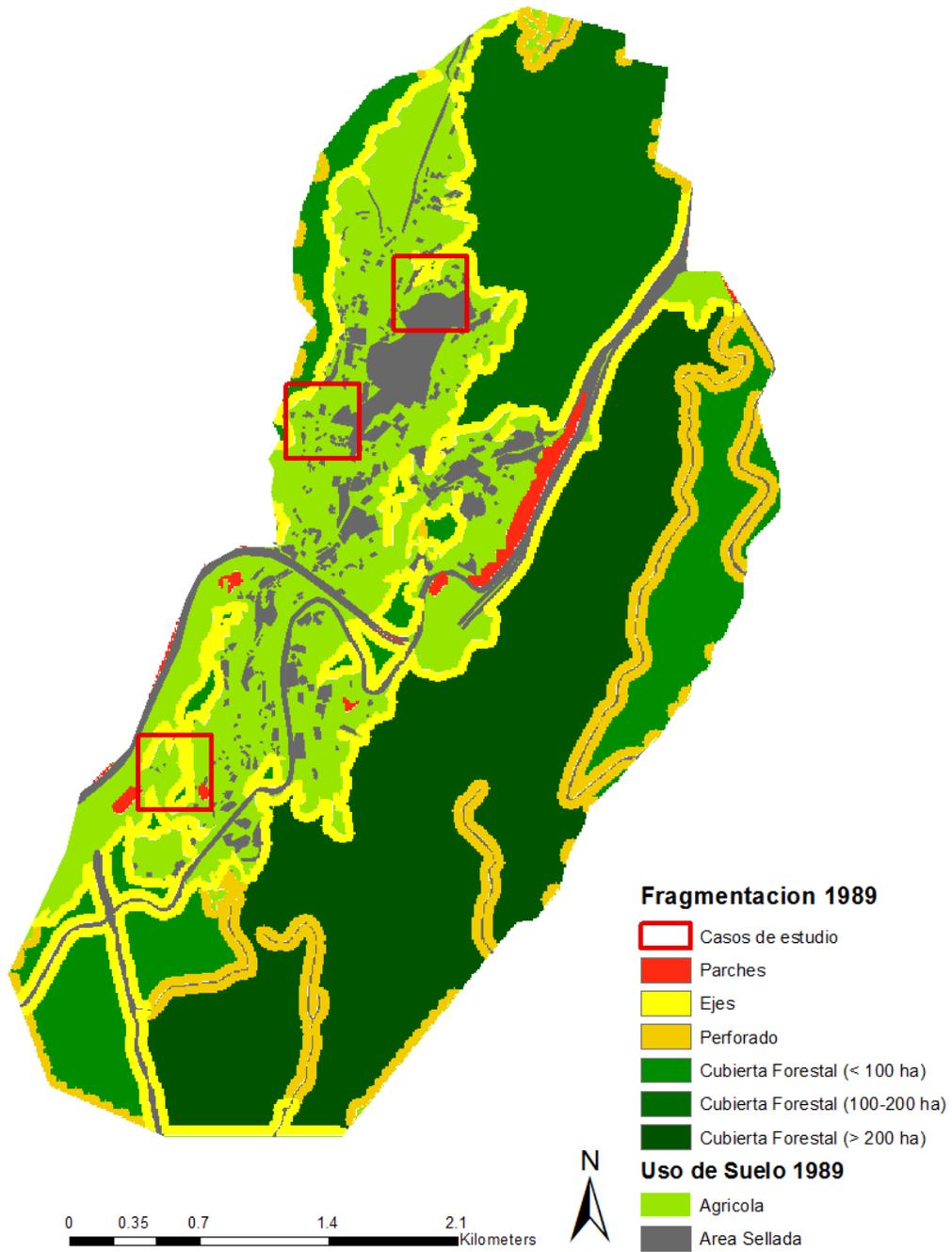


Figura 85. Mapa de fragmentación para el año 1989. Escala regional.

3.14.2 Fragmentación año 1999

En la figura 86, podemos observar el mapa del análisis de fragmentación para la década del año 1999. Se observa que aumenta el número de parches de bosque (en rojo) en comparación a la década anterior debido al crecimiento del área urbana. Asimismo, se observa una clara fragmentación de las áreas de bosque menores a 1 km que se ubican rodeadas de área agrícola y urbana, convirtiéndose en pequeños fragmentos de bosque aislado. Aparentemente las áreas de bosque mayores a 1 km y que se ubican fuera del área agrícola y urbana no han cambiado su estructura en comparación a la década anterior.

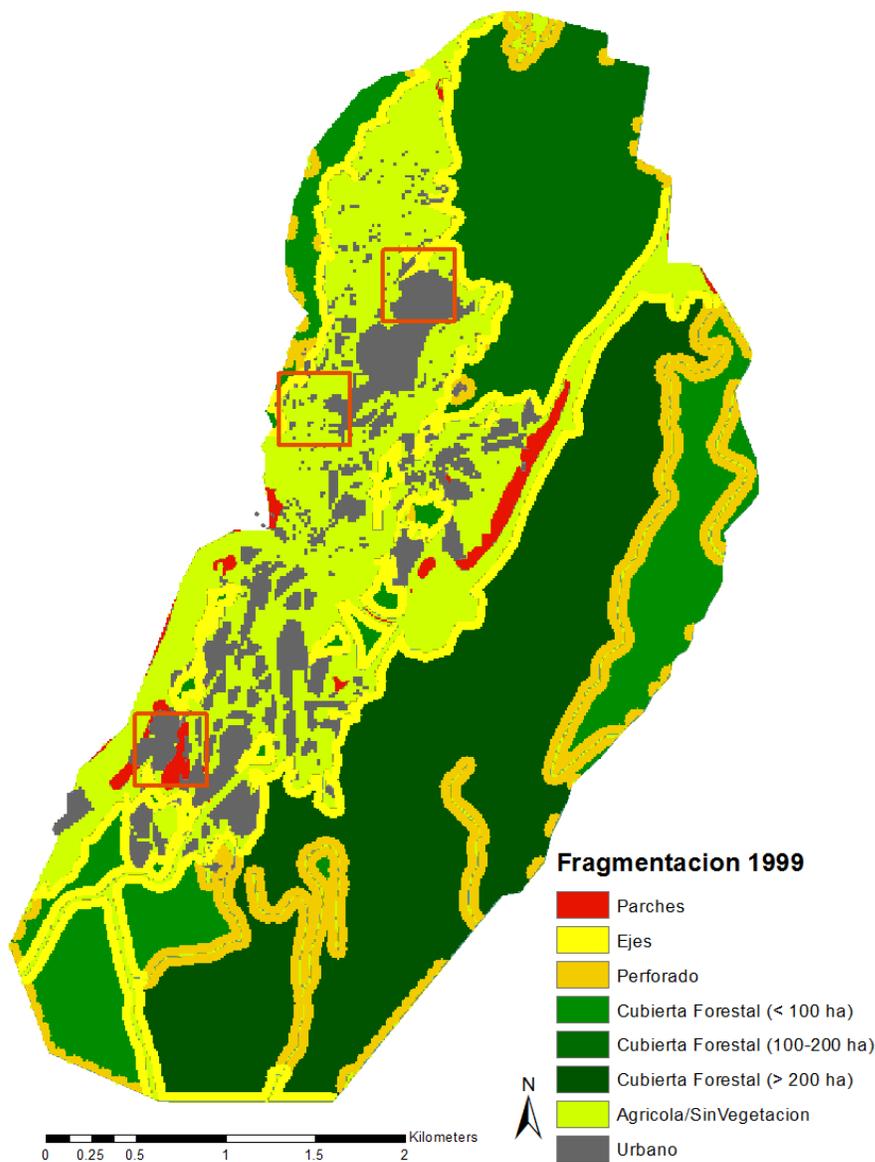


Figura 86. Mapa de fragmentación para el año 1999. Escala regional.

3.14.3 Fragmentación 2010

En la figura 87, podemos observar que para el año 2010 aumentan los parches de bosque (en rojo) dentro del área urbana y agrícola debido al crecimiento urbano que fragmenta éstas áreas. Por otro lado, aumentan las áreas de bosque (verde) menores de 1 km con sus respectivas zonas de transición (en amarillo) fuera del área agrícola y urbana. Se mantiene un solo elemento de cubierta mayor a 2 kilómetros cuadrados sin fragmentación aparente. También se observa que existen otros elementos de cubierta entre 1 y 2 Km cuadrados. Por otro lado podemos observar líneas de transición de bosque perforado en naranja, que se encuentran entre dos polígonos grandes de bosque, y los ejes (en amarillo) que también son zonas de transición entre áreas de bosque y no bosque. De esta manera, la figura 3 nos muestra la fragmentación que existe para el año 2010.

En la tabla 50, podemos observar los datos obtenidos a partir del análisis de fragmentación para los diferentes años de estudio. Se observa que el número de parches aumenta de 37 a 61, lo que demuestra que existe un mayor número de parches, por lo tanto hay una fragmentación.

Tabla 50. Datos de fragmentación a la escala regional en los años 1990, 2000 y 2010.

DÉCADAS	1990	2000	2010
Número Parches Bosque	37	54	61
Tamaño Promedio Parches de Bosque (área m)	3454.18	3190.2	4466.58
Distancia Media Parches bosque (1ra categoría)	1468.96	1767.62	1806.86
Desviación estándar del tamaño de los parches	1167.39	1226.29	1169.00
Tamaño promedio Total Parches (Todas las Categorías)	100161.03	77584.85	61330.45

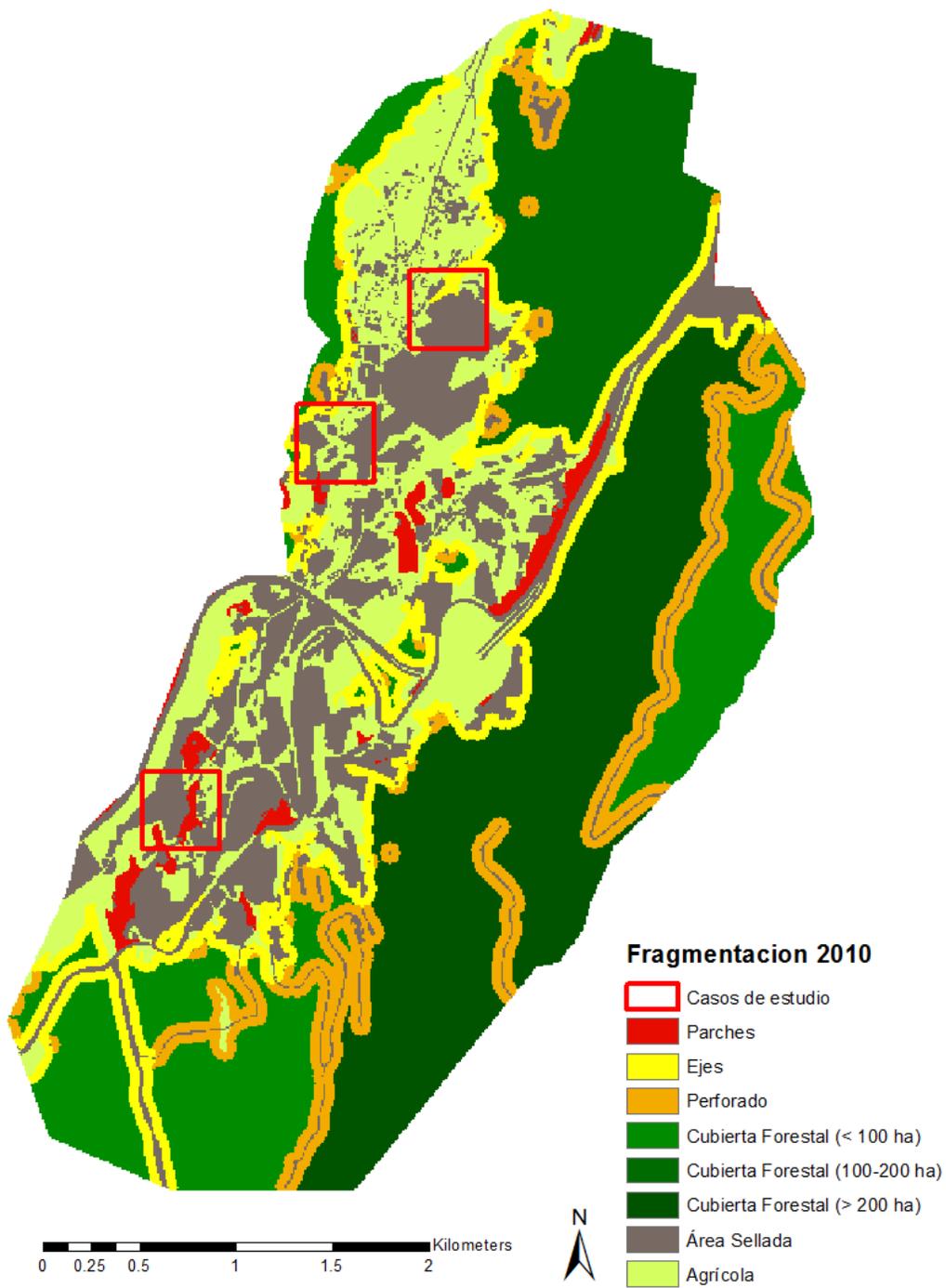


Figura 87. Mapa de fragmentación para el año 2010. Escala regional.

3.15 Análisis de Fragmentacion. Escala estudios de caso

Caso 1

A continuación, se muestra una comparación con las cartografías de las áreas del caso 1 con las cartografías del análisis de fragmentación. De tal manera, podemos observar en la figura 88, como se conforma el espacio del caso 1 y su mapa respectivo de fragmentación por década de estudio. Se observa claramente como los parches de bosque se fragmentan durante las décadas de estudio. En este caso, la fragmentación es menor respecto a los casos 2 y 3, como observaremos más adelante.

En la tabla 51, podemos observar los datos referentes al análisis de fragmentación del caso 1. El número de parches disminuye de 3 en la década de 1990 a 2 en el 2000, lo que demuestra una fragmentación significativa. En este caso, la distancia promedio entre los parches disminuye debido a que el número de parches disminuye a 1 para el año 2010 debido a que sólo queda un parche de bosque para ese año. Por otro lado, la desviación estándar del tamaño de los parches también disminuye por las mismas razones, al haber un solo parche disminuye a cero.

Tabla 51. Datos del análisis de fragmentación del Caso 1 en los años 1990, 2000 y 2010.

CASO1	1990	2000	2010
Numero de parches	3	2	1
Distancia promedio Parches	192.84	188.91	0
Desviación estándar Tamaño parches	6290.20	8199.67	0

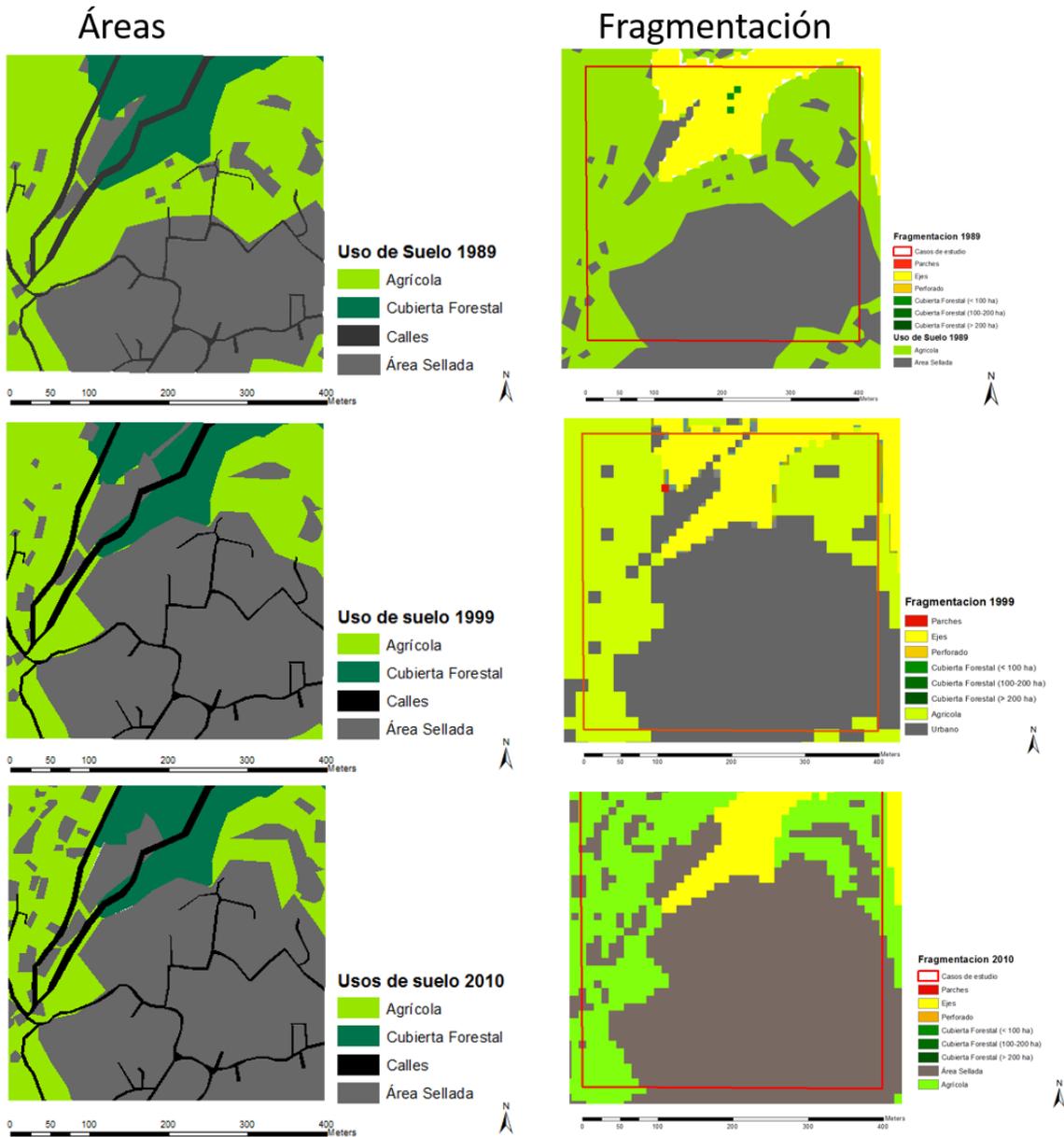


Figura 88. Mapas de áreas y fragmentación del caso 1.

Caso 2

En la figura 89, podemos observar los mapas de las áreas correspondientes al caso 2, así como los mapas de fragmentación a través de las décadas de estudio. En este caso, el crecimiento urbano ha sido, en su mayoría, sobre terrenos agrícolas, sin embargo ha existido una disminución en el área de cubierta forestal y por lo tanto una fragmentación.

La tabla 52, nos muestra los datos referentes a la fragmentación del caso 2. En este caso el número de parches disminuye dado que prácticamente desaparece una porción de bosque, como lo demuestran los mapas de la figura. En relación a la distancia entre los parches, ésta aumenta en el año 2010, lo que demuestra una clara fragmentación. Y en cuanto al tamaño de los parches de bosque, el indicador de la desviación estándar disminuye para el año 2010, lo que muestra una fragmentación del bosque.

Tabla 52. Datos del análisis de fragmentación del Caso 2 en los años 1990, 2000 y 2010.

CASO2	1990	2000	2010
Numero de parches	3	3	2
Distancia Parches	151.38	150.90	233.92
Desviación estándar Tamaño parches	6702.45	6291.42	3563.31

Áreas

Fragmentación

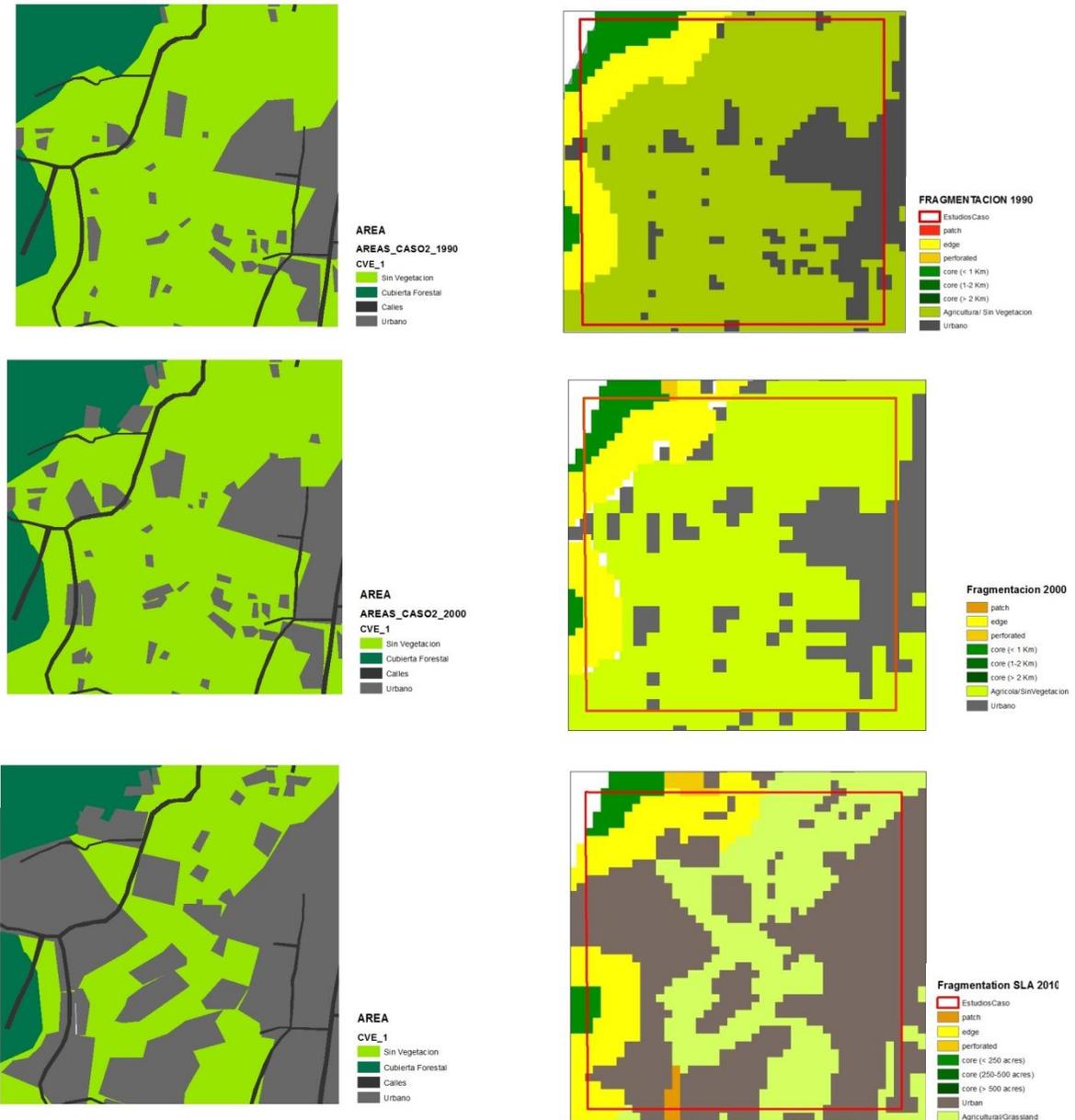


Figura 89. Mapas de áreas y fragmentación del Caso 2.

Caso 3

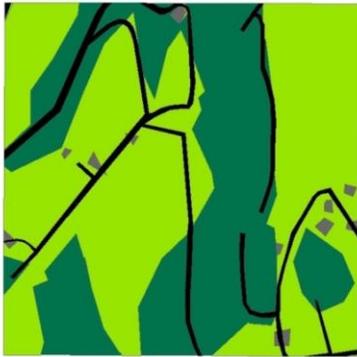
En la figura 90, se observa las áreas y los mapas del análisis de fragmentación de las diferentes décadas de estudio del caso 3. En este caso, los cambios en las diferentes áreas han sido dramáticos. La disminución del área de cubierta forestal y agrícola a expensas del crecimiento urbano se muestra en los mapas. De igual forma, podemos observar una drástica fragmentación de la cubierta forestal en el año 2010 en comparación con el año 1990, debido al crecimiento urbano.

La tabla 53 muestra cómo se ha fragmentado el caso 3. El número de parches disminuye más de la mitad desde 1990 al 2010 debido a la desaparición total de algunos y fragmentación de otros. La distancia entre parches disminuye debido a que disminuyo el número de parches y su tamaño, lo que se demuestra en la desviación estándar.

Tabla 53. Datos del análisis de fragmentación del Caso 3 en los años 1990, 2000 y 2010.

CASO3	1990	2000	2010
Numero de parches	11	11	5
Distancia Parches	227.08	244.47	183.41
Desviación estándar Tamaño parches	8235.15	8297.57	5078.42

Áreas



Fragmentación

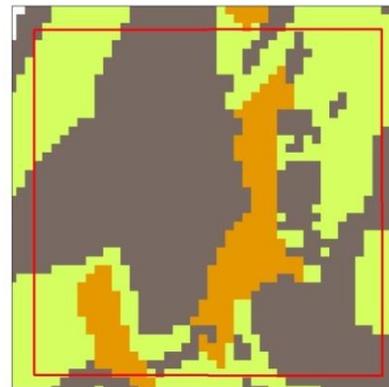
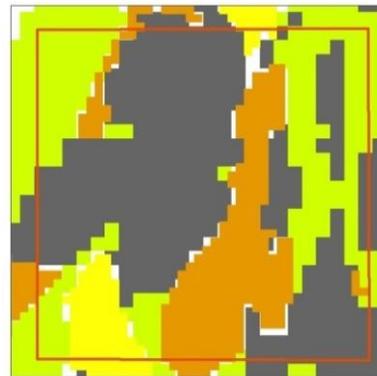
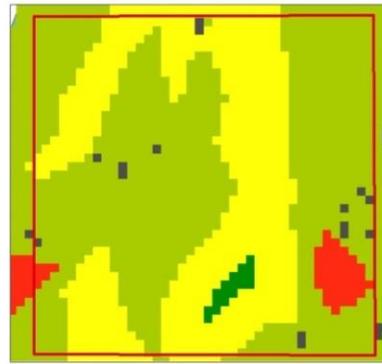


Figura 90. Mapas de áreas y fragmentación del Caso 3.

Capítulo IV

4 Comprobación de hipótesis

Dentro de los principales problemas ambientales que genera la expansión urbana se encuentran; por un lado, la pérdida de recarga del acuífero en zonas de conservación aptas para la filtración de agua hacia los mantos freáticos de la ZMCDMX. Por otro lado, la producción de residuos sólidos en la periferia, genera, no sólo problemas a escala local, sino también a escala regional por su manejo y disposición final.

Con base en el análisis realizado y los resultados de la investigación de campo, se obtuvieron parámetros del efecto ambiental producido por la urbanización a diferentes densidades de población localizada en las periferias (Tabla 54). Estos parámetros sirven para calcular o determinar el efecto ambiental que ocasiona la expansión urbana en las periferias. Con lo anterior, se comprueba la hipótesis en el sentido de que el análisis de los aspectos socio-ambientales y urbanos permitió derivar en parámetros de impacto ambiental en las periferias urbanas así como determinar el efecto que la urbanización de las periferias tiene sobre el ambiente y la ciudad.

Estos parámetros se centran en aspectos fundamentales para el funcionamiento de la vida urbana y el equilibrio ambiental en las ciudades; el sellamiento de los suelos y la producción de residuos sólidos y líquidos tienen un impacto fundamental en los ecosistemas y en la calidad de vida de sus habitantes.

Si bien existen muchos tipos de análisis ambientales que se pueden aplicar y utilizar para determinar el impacto ambiental que causa la urbanización, existen complicaciones técnicas y metodológicas dada la magnitud del fenómeno del proceso de urbanización de las periferias de la CDMX. También es importante mencionar que en la CDMX existen diversas condiciones o gradientes ambientales a lo largo de la periferia; diferencias geomorfológicas, edafológicas, de tipo de vegetación y climáticas, que tienen su grado de importancia según la zona y su aptitud de proveer servicios ambientales hacia la ciudad. Por ejemplo, las características geomorfológicas de Cuajimalpa difieren de los cuerpos de agua de Tláhuac y Xochimilco, así como en el tipo de suelo y de cubierta vegetal. También las zonas periféricas del norte y oriente de la ciudad difieren en aptitudes de filtración hacia los mantos acuíferos, entre otros aspectos. Lo que realza la importancia del caso de estudio al ser un área de gran

valor para el equilibrio ambiental de la ciudad, no sólo por su alta capacidad de infiltración, sino por sus otras cualidades para proveer diferentes servicios ambientales, dentro de los cuales está la captación de carbono, provisión de oxígeno, regulación climática, y otras ya expuestas a lo largo de la investigación.

4.1 Parámetros de impacto ambiental de acuerdo a la densidad de población en la periferia urbana de Cuajimalpa CDMX

Los siguientes parámetros de impacto ambiental en las periferias (Tabla 54) se dividen por las densidades de población localizada en los casos de estudio de Cuajimalpa²¹. Se obtuvo un gradiente de impacto de menor a mayor deterioro ambiental en la escala del 1 al 9. Estos parámetros incluyen: densidad de población (Hab/ha) la producción de residuos sólidos (basura en Kg/Día/ha), Vertido de agua residual (Lts/Día/ha), el porcentaje de área sellada por hectárea, la recarga del acuífero (m³/ha/año) y el porcentaje de pendiente.

Tabla 54. Parámetros de impacto ambiental en la periferia de Cuajimalpa, CDMX.

Gradiente de impacto ambiental en Periferias CDMX	Menor Mayor								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Densidad de población Hab/ha	BAJO 0 a 30	MEDIO 0 a 30	ALTO 0 a 30	BAJO 30 a 60	MEDIO 30 a 60	ALTO 30 a 60	BAJO 60 a 85	MEDIO 60 a 85	ALTO 60 a 85
Basura Kg/Día/ha	0 a 10	10 a 20	>20	20 a 40	40 a 60	>60	60 a 75	75 a 90	>90
Vertido de Agua Residual Lts/Día/ha	0 a 1300	1300 a 2000	>2000	2000 a 4000	4000 a 6000	>6120	6120	6120 a 8050	>8050
Área sellada %/ha	0 a 25%			25 a 65%			65 a 100%		
Recarga Acuífero m ³ /ha/año	>1111.20 y <1709.55			427.38-1111.20			< 427.38		
% Pendiente	0 a 7%			7 a 18%			18 a 45% y >45%-		

²¹ Se considera que en toda periferia de la CDMX existen densidades de población similares al caso de estudio. De igual forma las características socioeconómicas se repiten. En este sentido éstas no dependen de la densidad de población, es decir, pueden coexistir estratos medios y bajos en diferentes densidades de población.

4.2 Discusión y conclusiones generales

A continuación, se lleva a cabo una síntesis sobre la dinámica y los principales efectos ambientales que produce este tipo de urbanización de la periferia carente de planeación e infraestructura adecuada. Al mismo tiempo, se discuten los resultados obtenidos así como las principales fuerzas que conducen el cambio en la periferia de acuerdo a las variables analizadas.

A través del análisis multi-escalar de la dinámica de los cambios en el uso de suelo y del proceso de urbanización en la periferia de la CDMX durante las últimas tres décadas, se encontró un incremento en el área sellada y en la producción de residuos que está ocurriendo sobre suelo de conservación. Este análisis, permitió construir parámetros de impacto ambiental para diferentes densidades de población ubicada en las periferias²².

El caso de estudio presentado mostró que el territorio ocupado por la expansión incontrolada de los asentamientos es habitado en su mayoría por sectores de bajos ingresos, sin embargo, también se encontró que la periferia es ocupada por otros sectores de población de nivel socioeconómico medio, que si bien carecen de muchos servicios urbanos, encuentran el modo de satisfacerlos por su propia cuenta. Este proceso de urbanización de la periferia trae consigo consecuencias ambientales severas para la ciudad en su conjunto, entre ellos; la producción de residuos sólidos y líquidos, el sellamiento de los suelos y el deterioro o total desaparición de ecosistemas. Estos son de los problemas más importantes que derivan en afectaciones al bienestar de los habitantes de la ciudad. Dichas problemáticas fueron abordadas a lo largo de ésta investigación.

De acuerdo con los indicadores seleccionados para determinar el deterioro ambiental, el cambio de uso de suelo a ambas escalas de trabajo (regional y local) es uno de los más importantes; mostró con base en fuentes (fotografías aéreas e imágenes satelitales) y datos procesados en un SIG, cómo ha sido el proceso de urbanización en esta zona en las últimas tres décadas. Con ello, se mostraron los diferentes cambios entre categorías de uso de suelo y su proceso en el territorio. En este sentido, el proceso de urbanización a la escala regional,

²² Ver en el apartado anterior la tabla 54: Parámetros de impacto ambiental de acuerdo a la densidad de población de la periferia urbana de Cuajimalpa de la CDMX.

se lleva a cabo mediante el cambio de uso de suelo agrícola a urbano y en menor medida de cubierta forestal a urbano. De forma que el proceso de urbanización en esta periferia es el siguiente; en primer lugar se cambia de cubierta forestal a uso agrícola, y en segundo lugar pasa de uso agrícola a uso urbano. En consecuencia, se comprobó que el cambio de uso de suelo es uno de los factores más determinantes en el deterioro o total desaparición de ecosistemas, así mismo en la afectación de la calidad de vida de las sociedades, como lo señalan diversos autores, entre ellos; Lambin et al. (2001), Aguilar y Santos (2011) y Gilbert & De Jong (2015).

El indicador del área sellada también es de gran relevancia porque representa un impacto muy importante en el funcionamiento del eco-sistema al impedir la filtración de agua hacia los mantos acuíferos, alterar los ciclos biológicos y químicos, así como la pérdida de biodiversidad en los suelos, entre otros aspectos ya mencionados a lo largo de la investigación, que finalmente repercuten en la provisión de los servicios eco sistémicos a la CDMX, especialmente el de suministro de agua potable para consumo humano. En este sentido, es importante señalar que según las cifras de la CONAGUA, no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero ZMCDMX (CONAGUA 2015). Lo que significa un déficit de agua en los acuíferos para consumo humano. Tal dato resulta alarmante pues actualmente el consumo de agua en la cuenca de la CDMX es de 61.6 m³/s, de los cuales el 66% es suministrado por pozos de los acuíferos (Hernández-Espriú et al., 2014), mientras que el 44% restante se obtiene de otras fuentes o Estados aledaños como por ejemplo el sistema Cutzamala. Por lo anterior, las consecuencias sociales de la nula disponibilidad de agua en el acuífero, aunado a la pérdida de su recarga dada la expansión acelerada e incontrolada del área sellada urbana son catastróficas para los habitantes de la ciudad. También, la falta de drenaje propicia el vertido de desechos hacia los ríos y, aunque la absorción de agua residual hacia los mantos acuíferos se da en menor medida, esto afecta a la calidad de agua que proveniente de estas fuentes.

En cuanto al análisis de fragmentación del hábitat a escala regional, los resultados mostraron una clara evolución de la fragmentación de los bosques a través de los años, es decir, aumentaron los fragmentos de bosque en número y disminuye su tamaño promedio, lo que significa un aumento de parches de bosque pero una disminución en su área. De acuerdo con

Primack (1998) y Garcia (2011), las consecuencias de la fragmentación son variables; entre ellas está la disminución de la homogeneidad de la cubierta forestal, por lo tanto su biodiversidad y su capacidad de proveer servicios ambientales se ve afectada drásticamente. Se puede afirmar que la fragmentación del hábitat a escala regional se debe, sin lugar a dudas, al proceso de urbanización y de cambio de uso del suelo. A la escala local, el modelo de análisis de fragmentación utilizado mostró que en el caso 1, el de mayor densidad de hab/ha, disminuye en el número de parches de 3 a 1 y su distancia media disminuye a cero, debido a que solo queda una pequeña área de bosque para el año 2010. En cuanto al caso 2 se observó una clara desaparición de fragmentos de bosque de 3 a 2, y para el caso 3, el de mayor cantidad de cubierta forestal, el número de parches es mucho mayor, paso de 11 parches a 5, lo que significa una fragmentación muy drástica y la desaparición total de algunos fragmentos debido al proceso acelerado de crecimiento urbano que hubo en este caso. A partir de este análisis de fragmentación a escala local, se puede decir que este indicador de fragmentación es muy útil como una forma de esclarecer cuantitativamente, mediante una métrica del paisaje, la pérdida de los hábitats de bosque. En este sentido, el análisis de fragmentación a la escala regional en esta investigación resultó más importante y esclarecedor debido a la dimensión de territorio que comprende una mayor bio-diversidad.

Cabe considerar que el análisis multi-escalar mostró que los datos regionales esconden importantes aspectos territoriales y socioeconómicos en contraste con la observación de campo. Mientras que a la escala regional se identificó la tendencia general de crecimiento y cambio de uso de suelo, en la escala local, dónde se analizaron tres casos de estudio con diferencias en sus características urbanas, sociales y ambientales, se identificaron ciertos territorios que son más susceptibles a cambios en un contexto de rápido crecimiento urbano. Por ejemplo, el caso 3 resultó tener las tasas de cambio más significativas en cuanto al incremento de área sellada; lugar caracterizado por residentes de bajos ingresos, con precarios servicios urbanos y en donde al inicio del periodo de estudio, existía gran porcentaje de cubierta forestal y área agrícola con espacios abiertos. Muchas investigaciones se enfocan en procesos que ocurren a una sola escala, ignorando lo que ocurre a otras escalas territoriales (Chowdhury R., et. al. 2011). Por consiguiente, esta investigación mostró que la aproximación multi-escalar puede explicar diferencias que existen entre los comportamientos

de las dinámicas de los cambios de uso de suelo, así como en las dinámicas de crecimiento poblacional a diferentes escalas.

Como conclusión de la investigación de campo, a través de la observación de la vivienda y el entorno, así como del levantamiento de encuestas a las familias, se corroboró que existe un incremento en la densificación (Hab/ha) y en la cantidad de metros cuadrados construidos a través del tiempo en territorios específicos, particularmente en el caso 2 y 3 que tienen características de bajos ingresos. Esto se relaciona con el aumento en el número de habitantes por vivienda y en el aumento de los ingresos por vivienda. Lo que tiene una repercusión en la producción de residuos y por lo tanto en el deterioro ambiental. En este sentido, se encontró que los sectores de menores ingresos son los que producen menos residuos sólidos y líquidos dado que su nivel adquisitivo es menor y porque el suministro de agua es menor, carecen de drenaje ó utilizan fosas sépticas que se consideran son menos contaminantes. Sin embargo, el manejo de los residuos, por parte de esta población, genera mayor impacto ambiental en el entorno inmediato, por el tipo de prácticas utilizadas. La recolección de residuos es esporádica y en muchos lugares la basura se deja a cielo abierto lo que genera efectos sanitarios negativos para la población y en general impactos que alteran el funcionamiento adecuado del ecosistema y la bio-diversidad, diversos autores relacionan el nivel socioeconómico con problemas sanitarios y de urbanización, entre ellos Fobil et al., (2010). Los sectores de medios y altos ingresos producen más residuos debido a que su nivel adquisitivo es mayor. También, su manejo y tratamiento responde a una infraestructura urbana más consolidada. Es decir, existen servicios urbanos que se ocupan de ello; camiones recolectores que pasan periódicamente y separan los residuos en orgánico e inorgánico y drenajes que se vierte al río, dejando graves consecuencias ambientales, no solo en el entorno inmediato, sino también para la CDMX. En este sentido, Miller (2007), señala estimaciones que relacionan el consumo y la producción de residuos en ciudades, como parte de la huella ecológica y del impacto ambiental que generan. La contaminación del suelo es otro aspecto importante debido a los escurrimientos de líquidos que provienen de los residuos. La acumulación de basura en lugares con pendientes pronunciadas o barrancas, genera un problema aún mayor, dada el difícil acceso a esta zona. Las consecuencias sociales son la disminución del bienestar de los residentes, al generar enfermedades respiratorias y gastrointestinales, fauna nociva (como roedores o plagas de insectos), precarización de los

espacios, inseguridad, depreciación, y mayor costo de manejo y disposición de los residuos, como lo señala J. Bazant (2016).

Algunas de las prácticas sociales utilizadas por los sectores de bajos ingresos generan un impacto considerablemente mayor respecto a las realizadas por otros sectores. No solo en el proceso de ocupación del territorio, sino también en el manejo de sus residuos. Por ejemplo, una de las prácticas de ocupación del territorio, observada y de la que se obtuvo información a partir de la investigación de campo, es una llevada a cabo por sectores de bajos ingresos ubicados en zonas que son en su mayoría cubierta forestal, y con pendientes pronunciadas entre 20% y mayores a 40%. Dicha práctica, consiste en cubrir el terreno con arena para construcción y así provocar la muerte de los árboles por sequía. Con ello, se obtiene el permiso para derribar el árbol, alegando que se considera un riesgo para las familias que habitan las zonas colindantes, consiguiendo así liberar el terreno para poder construir más espacio habitable y contribuyendo a la deforestación. Este proceso se repite en toda la periferia que tiene estas características. Y es en estas zonas dónde el proceso de expansión es más acelerado. Aunque el objetivo central de esta investigación no abarca la cuestión del mercado ilegal del suelo, en algunas entrevistas realizadas, se corroboró que existe la venta ilegal de terrenos, en complicidad con los dueños de la tierra (comuneros) y las autoridades, y por supuesto, los nuevos residentes. Lo que propicia en gran medida la expansión urbana hacia estas zonas.

El análisis multivariado permitió esclarecer las fuerzas que producen el cambio en la urbanización de la periferia y por lo tanto las generadoras de un efecto ambiental, considerando los variables de análisis utilizadas en esta investigación. En este sentido, el número de trabajadores por vivienda (ó población económicamente activa por vivienda) es una variable muy significativa porque debido al incremento de trabajadores por vivienda, se genera un aumento del ingreso de las familias. Lo anterior, deriva en mayores posibilidades de construir más espacio habitable o área sellada- en términos de impacto ambiental- por vivienda. Entonces, existe un aumento de los metros cuadrados por vivienda, otra de las variables que son las fuerzas motoras de la expansión urbana y del cambio de uso de suelo. De la misma manera, se concluye que a mayor captación de ingreso por vivienda, mayor es

la capacidad de compra de las familias y, por lo tanto, mayor es la producción de residuos sólidos y líquidos. También, la proximidad del transporte público y la recolección de basura resultaron ser unas variables importantes en cuanto a la generación de un cambio y del impacto ambiental. En este sentido, Seto et al., (2011), señalan que las fuerzas del cambio en la urbanización varían a nivel regional, mientras que a nivel global son principalmente la población económicamente activa, el producto interno bruto per cápita y el crecimiento demográfico, sin embargo es difícil observar variables que conduzcan al cambio a nivel global dado que existen múltiples factores locales, entre ellos, las políticas locales de uso de suelo, las prácticas políticas y sociales, la economía informal, costos de transporte y flujos de capital, entre otros aspectos.

La urbanización incontrolada de las periferias trae consigo múltiples afectaciones al bienestar de los habitantes. La desigual distribución del ingreso, propicia que las mayorías urbanas accedan a lotes o viviendas en zonas decretadas como suelo de conservación, y que en la mayoría de los casos los convierte en asentamientos ilegales, irregulares o informales, generalmente ubicados en las periferias urbanas de las ciudades. Tal es el caso de la periferia de la CDMX y Cuajimalpa no es la excepción. Resulta claro que el excesivo crecimiento urbano y la falta de áreas e infraestructura verde; los pocos o nulos vínculos entre los ecosistemas-naturaleza-biodiversidad y la urbe, la excesiva producción de residuos y su deficiente manejo, afectan directamente al bienestar y la salud de los habitantes de las ciudades como lo señalan diversos autores, entre ellos Sandifer, et al. (2015) y Tzoulas, et al. (2007).

Esta investigación permitió esclarecer los procesos de cambio de uso suelo y el deterioro ambiental que la urbanización de la periferia produce, juntando resultados provenientes de diversos análisis como por ejemplo; densidades de población en las periferias y su condición socio-económica y su relación con la producción de residuos sólidos y líquidos, la fragmentación del hábitat y los cambios de uso del suelo, el incremento del área sellada y su relación con la pérdida de la recarga hacia los acuíferos de la ciudad. También contribuyó a identificar las fuerzas que producen el cambio en la urbanización periférica y sus efectos directos e indirectos en el medio ambiente tomando en consideración las variables de análisis utilizadas. Asimismo, reconoció algunas de las prácticas que contribuyen al deterioro

ambiental. Estas aportaciones derivaron en parámetros de impacto ambiental en las periferias las cuales pueden significar pautas hacia una transición urbana en donde exista una planeación equilibrada entre el medio ambiente y la ciudad. Así mismo, estas aportaciones contribuirán a la formulación de estrategias o políticas para revertir o mitigar el deterioro ambiental. Lo anterior tiene importantes implicaciones para la gobernanza y generación de políticas que coadyuven a la mitigación del efecto ambiental generado por la urbanización en las periferias. Así como para el debate acerca del análisis mono y multi escalar y sus probables soluciones a la expansión urbana y a los problemas que generan los cambios de uso de suelo en distintos niveles o escalas territoriales. También se concluye que la metodología empleada es un referente para utilizarse en otras periferias urbanas de la CDMX u otras ciudades que tengan problemáticas similares de expansión urbana incontrolada en zonas de alto valor ambiental. Esta investigación se inserta en el contexto actual de los estudios urbano-ambientales que dan énfasis en la expansión urbana y su efecto ambiental, con miras a aportar al entendimiento, comprensión y solución de problemas claves como lo es el ambiente y el bienestar de los habitantes de las ciudades.

Como reflexión final, juntar distintas perspectivas analíticas (urbanas, ambientales, sociales y urbanas) resulta un tanto complejo, pues cada disciplina tiene sus propios preceptos, teorías y parámetros. El hecho de conciliar puntos de acuerdo entre distintos expertos y analizar los procesos de urbanización y ambientales bajo una misma mirada, amplía el margen de entendimiento y por lo tanto probable solución ante los problemas urbanos, como lo es la urbanización de la periferia y sus efectos ambientales.

5 Fuentes utilizadas

Cartografía de la CDMX y sus delegaciones.

Cartografía del suelo de conservación (IG-2010).

Fotografías aéreas de la zona de San Lorenzo Acopilco obtenidas del INEGI. Años: 1989, 1999, 2000,

Fotografías aéreas obtenidas en el (LAGE-IG) del año 2010.

Cartografía de AGEBS (San Lorenzo Acopilco) INEGI 2000 y 2010

Cartografía uso de suelo y vegetación 2010 (PAOT-2010)

Plan Parcial de la Delegación Cuajimalpa 1997. Fragmento de SLA.

Censos de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010. (INEGI)

6 Bibliografía

Abhas Jha, Lamond Jessica, Bloch Robin, Bhattacharya Namrata, Lopez Ana, Papachristodoulou Nikolaos, Bird Alan, Proverbs David, Davies John, Barker Robert (2011). *Five feet high and rising, Cities and flooding in the 21st century*. Policy Research Working Paper 2648, The World Bank, East Asia and Pacific Region. Transport, Energy & Urban Development Unit.

Aguilar, A. G., Ward, P. M., & Smith Sr, C. B. (2003). Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's peri-urban hinterland. *Cities*, 20(1), 3-21.

Aguilar Adrian, Guillermo (2008), "Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. Elsevier: *Cities* (25) (2008) 133-145

Aguilar, A. G., & Santos, C. (2011). Informal settlements' needs and environmental conservation in Mexico City: An unsolved challenge for land-use policy. *Land Use Policy*, 28(4), 649-662.

Aguilar, Adrián y Escamilla, Irma, (coords.) (2009) Periferia Urbana. Deterioro Ambiental y reestructuración metropolitana. México: Porrúa, UNAM/Instituto de Geografía.

- Aguilar, Adrián y Escamilla, Irma, (coord.) (2011) Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades. México: Porrúa-UNAM-IG
- Alberti, M., Marzluff J. M. (2004). *Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions*. Urban Ecosystems 7. 241-265.
- Bazant S. J. (2001). *Periferias urbanas. Expansión incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente*. México: Trillas
- Bazant S. J. (2004). *Asentamientos humanos irregulares. Guía de soluciones urbanas*. Bazant S. México: Trillas.
- Bazant S. J. (2010). *Paradigmas de la planeación urbana en la dinámica de transformación del suelo urbano*. Ponencia magistral. UAM-Xochimilco
- Bazant S. J. (2015). *Procesos de transformación territorial en las periferias urbanas*, En: Olivera Guillermo *Coord.* (2015), La urbanización social y privada del ejido. Ensayos sobre la dualidad del desarrollo urbano en México. UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias: Cuernavaca, Morelos. México
- Bazant S. J. (2016). *Evaluación de impacto ambiental urbano*. México: Trillas
- Camposortega, Sergio (1992). “Evolución y tendencias demográficas de la Zona Metropolitana de la CDMX”. En: La zona metropolitana de la CDMX. Problemática actual y perspectivas demográficas y urbanas. México, CONAPO.
- Chowdhury, R., Larson, K., Grove, M., Polsky, C., Cook, E., Onsted, J., & Ogden, L. (2011). A multi-scalar approach to theorizing socio-ecological dynamics of urban residential landscapes. *Cities and the Environment (CATE)*,4(1), 6.
- Comisión Nacional del Agua (2009) Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea: Acuífero (0901) Zona Metropolitana de la Cd. De México. Diario Oficial de la Federación. Available via <http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=94>. Acceso 30 Noviembre 2015
- CONAPO (1996), Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la CDMX. Síntesis, Consejo Nacional de Población, México DF.

Connolly, Priscilla, (1988), "Crecimiento urbano, densidad de población y mercado inmobiliario". Revista "A", vol. IX, núm. 25. México, UAM-Azcapotzalco.

Connolly, Priscilla y Ma. Soledad Cruz, (2004). "Nuevos y viejos procesos en la periferia de la CDMX". En: Aguilar, Adrián, coord. Op. cit.

Connolly, Priscila, (2005), *Tipos de poblamiento en la CDMX*. Observatorio de la CDMX. OCIM-UAM Azcapotzalco. Consultado en: <http://www.ocim.azc.uam.mx/OCIM-SIG%20ABRIL/poblamiento.pdf>

Coulomb R. (2006), *La vivienda en el Distrito Federal, retos actuales y nuevos desafíos*. Mexico: UAM-A.CONAFOVI-INVI

Cram Silke, Cotler Helena, Morales Luis M., Sommer Irene, Carmona Estela (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM (66) 81-104.

Cruz Rodríguez M. Soledad, (2000), Periferia y suelo urbano en la Zona Metropolitana de la CDMX. En Sociológica año 15. Núm 42. Pp 59-90- México:UAM-A

Cruz Rodríguez M. Soledad, (2005), Las Dimensiones rural y urbana en los espacios periféricos. El caso de la zona Metropolitana del Valle de México.. México: UAM

Cruz Rodríguez Ma. Soledad. (2011) "Expansión urbana en suelo de conservación y propiedad de la tierra en el Distrito Federal". En: Perez Campuzano Enrique, Perevochtchikova María, Ávila F. V. Sophie. (coord.) (2011), Suelo de Conservación del Distrito Federal. ¿Hacia una gestión y manejo sustentables?. México: Porrúa-IPN

Delgado, Javier, (1994), "Las nuevas periferias de la CDMX", En Hiernaux, D y Tomas D (comps.), Cambios económicos y periferia de las grandes ciudades. El caso de la CDMX. México: IFAL-UAM-Xochimilco.

Douglas Ian (2006) "Peri-Urban Ecosystems and societies: Transitional zones and contrasting values". The Peri-Urban Interface. London: Earthscan

Díaz-Chavez, Rocio A. (2006) "Measuring Sustainability in Peri-Urban Areas: Case study of México City. The Peri-Urban Interface. London: Earthscan

ECOTONO (1996) Fragmentación y Metapoblaciones. Centro para la Biología de la Conservación.

EEA, European Environmental Agency (2011). Annual report 2010 and environmental statement 2011. Copenhagen: EEA

EUC European Commission (2012). Commission staff working document, Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing. Brussels.

EUCC, European Communities (2011). Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects.

Fobil, J., May, J., & Kraemer, A. (2010). Assessing the relationship between socioeconomic conditions and urban environmental quality in Accra, Ghana. *International journal of environmental research and public health*, 7(1), 125-145.

García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas* 20(2-3):1-10.

Gauch, H. G. (1982). *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press.

Gilbert, L., & De Jong, F. (2015). Entanglements of Periphery and Informality in Mexico City. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(3), 518-532.

Hagene, T. (2010). Everyday political practices, democracy and the environment in a native village in Mexico City. *Political Geography*, 29(4), 209-219.

Hernández-Espriú, A., Reyna-Gutiérrez, J. A., Sánchez-León, E., Cabral-Cano, E., Carrera-Hernández, J., Martínez-Santos, P., Macías-Medrano s., Falorni G., & Colombo, D. (2014). The DRASTIC-Sg model: an extension to the DRASTIC approach for mapping groundwater vulnerability in aquifers subject to differential land subsidence, with application to Mexico City. *Hydrogeology Journal*, 22(6), 1469-1485.

Hiernaux, D. (1991), *Ocupación del suelo y producción del espacio construido en el valle de Chalco, 1978-1991* en M. Schteingarth, Espacio y vivienda en la CDMX, México: El Colegio de México/ I Asamblea de Representantes del Distrito Federal.

Hiernaux, D. (1995), Nueva Periferia, Vieja Metropoli: El Valle de Chalco, CDMX. México: UAM-X

Hill, M. O., & Gauch Jr, H. G. (1980). Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetation*, 42(1-3), 47-58.

Hurd D. James, Civco L. Daniel (2010), Assesing forest fragmentation in Connecticut using multi-temporal Land Cover. Department of Natural Resources and the Environment, College Miller, G. T. (2002). *Ciencia Ambiental: preservemos la tierra* (No. 333.7 M653c). México, MX: Thomson.of Agriculture & Natural Resources, University of Connecticut.

INEGI 2004.
http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/otras/ZONAS_MET.pdf

Inostroza, L., Baur, R., Csaplovics, E., (2013), Urban sprawl and fragmentation in Latin America. A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Planning*, 115, 87-97.

Iracheta Cenecorta Alfonso (2015), Ciudad informal y precaria: la otra cara de la urbanización mexicana. En: Olivera Guillermo *Coord.* (2015), La urbanización social y privada del ejido. Ensayos sobre la dualidad del desarrollo urbano en México. UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias:Cuenavaca, Morelos. México

Jongman R. H. G, Ter Braak C. J. F. & Van Tongeren O. F. R (1995), Data analysis in community and landscape ecology, Cambridge University Press, New York

Keil, R. (Ed.). (2013). *Suburban constellations: governance, land and infrastructure in the 21st century*. Jovis verlag

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.

Lee, H., J. L. Carry y A. Lankerani (1995) "Human disturbance and natural habitat: a biome level analysis of global data set", *Biodiversity and Conservation*, 4: 128-155

Lopez G. Erna, Bocco G., Mendoza M. (2001) "Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia." *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Num 45, 2001, pp 56-76*

McCune, Bruce, Grace B. James (2005). *Analysis of ecological communities*, Duke University, Durham, North Carolina

Merlín-Uribe, Y., Contreras-Hernández, A., Astier-Calderón, M., Jensen, O. P., Zaragoza, R., & Zambrano, L. (2013). Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of environmental planning and management*, 56(3), 398-411.

OCIM (1996). (Observatorio de la CDMX) Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la CDMX 1990-2010. México: CENVI, UAM-Azcapotzalco.

Olivera Guillermo *Coord.* (2015), *La urbanización social y privada del ejido. Ensayos sobre la dualidad del desarrollo urbano en México.* UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias: Cuernavaca, Morelos. México

PAOT (2010), *Ocupación irregular y riesgo ambiental en barrancas de la delegación Cuajimalpa de Morelos.* Distrito Federal. México: D.F.

PAOT (2010-1). *Modelo de Análisis Tendencial sobre la pérdida de cubierta forestal en el suelo de conservación del Distrito Federal.* México: DF

PAOT (2010-2). *Estudio sobre el Ordenamiento, Control y Tratamiento Integral de Asentamientos Humanos Irregulares, ubicados en Suelo de Conservación del Distrito Federal.* México: DF

PAOT y CentroGeo (2010). *Análisis tendencial sobre la pérdida de cobertura forestal en suelo de conservación del Distrito Federal.*

PAOT (2011). *Distribución espacial de los asentamientos humanos irregulares ubicados en suelo de conservación en relación con el proyecto del Programa General de Ordenamiento Ecológico y Zonas de Valor Ambiental en el Distrito Federal.*

PAOT (2012). Atlas cartográfico del suelo de conservación del Distrito Federal. Link: http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/Atlas_Version_final.pdf (visitado Julio 2013)

Perez Campuzano Enrique, Perevochtchikova María, Ávila F. V. Sophie. (coords.) (2011). Suelo de Conservación del Distrito Federal. ¿Hacia una gestión y manejo sustentables? México: Porrúa-IPN

Primack, R. B. (1993). *Essentials of conservation biology* (Vol. 23). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.

Puyravaud JP. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177, 593-596

Rodríguez Gamiño Ma. De Lourdes, Lopez Blanco Jorge, Vela Correa Gilberto (2011). “Crecimiento urbano y deterioro ambiental en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. En, Aguilar, A.G y Santos C. (2011). Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades. México:Porrúa-UNAM-IG

Rogers R. G. & Urban Task Force. (1999). Towards an urban renaissance. Urban Task Force: London

Romero, M., C. Morera, D. Alfaro, R. Marín & O. Barrantes. (2009). Degradación del paisaje natural en territorios urbanos, medido a través de métricas del paisaje. Universidad Nacional: Heredia. Recuperado de: http://www.una.ac.cr/observatorio_ambiental/index.php?option=com_booklibrary&task=view&id=27&catid=47&Itemid=37

Saavedra F. y Rosalva L. (2000). Población, medio ambiente y desarrollo sustentable. Dos estudios de caso. México: CONAPO-SEMARNAP

Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E., & Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 12, 1-15.

Scalenghe,R., Ajmone Marsan F., (2009) The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning* 90 1-10

- Scheinbaum Pardo, Claudia, (2011) La compleja problemática del suelo de conservación del Distrito Federal: apuntes para su conservación. En: Perez Campuzano Enrique, Schteingart M. y Salazar, C. (2010) Expansión urbana, sociedad y ambiente, México: COLMEX
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one*, 6(8), e23777. Obtenido de: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0023777>. Vínculo visitado en Octubre 2016
- Turner, W. R., Nakamura, T., & Dinetti, M. (2004). Global urbanization and the separation of humans from nature. *Bioscience*, 54(6), 585-590.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178.
- Unikel, Luis et al. (1976). El Desarrollo Urbano en México. México: Colmex.
- UNAM-SEMARNAT-INE (2006). Urbanización periférica y deterioro ambiental en la CDMX: el caso de la delegación Tlalpan en el Distrito Federal. México: DF
- Velázquez Alejandro y Francisco J. Romero (comp.) (1999), Biodiversidad de la región de la montaña del sur de la cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico, México: UAM
- Velázquez A. (et. al) (2002) Análisis de cambio de usos del suelo. Informe técnico, Convenio INE-Instituto de Geografía-UNAM.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J. F., Bocco, G., Ramírez, G., & Palacio, J. L. (2003). Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(3), 175-184.
- Velázquez Alejandro (et. al.) (2010) Mapping land cover changes in Mexico, 1976-2000 and applications for guiding environmental Management policy. *Singapore Journal of Tropical Geography* 31 (2010) 152-162.

Vogt, P., Riitters, k., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T., Wickham, J., (2007) Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecology*. 22. 171-177

Wigle, J. (2014). The graying of green zones: Spatial Governance and irregular settlement in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Urban and Regional research*. Volume 38.2 . 573-89

Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. *Biological reviews*, 42(2), 207-264.

Enlaces electrónicos

Sitio Web INEGI

Diccionario de datos y usos del suelo y vegetación

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usosuelo/?_file=/geo/...

Observatorio Laboral de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social

<http://www.observatoriolaboral.gob.mx/swb/>

Visitado en Febrero de 2014

<http://clear.uconn.edu/%5C/tools/lft/lft2/index.htm>

Visitado en Diciembre 2014 y Marzo 2015

<http://clear.uconn.edu/%5C/tools/lft/lft2/vogt%20etal%202007%20mapping%20spatial%20patterns%20with%20morphological%20image%20processing.pdf>

Visitado en Diciembre 2014

Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Organización panamericana de la salud.

<http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/026578/tomo1/026578-01.pdf>

Vínculos visitados Agosto 2016.

RAE (2016). Real Academia Española

<http://dle.rae.es/?id=5Tfw6F> Vínculo visitado Octubre 2016

7 Anexos

7.1 Modelo de encuesta aplicado

Proyecto: Periferia urbana e impacto ambiental. El caso de las barrancas de Cuajimalpa, CDMX.

Encuesta prototipo				
				
Caso ()				
Vivienda				
	Respuestas			
Opciones	1	2	3	4
1.- ¿Quiénes fueron los primeros habitantes de esta vivienda?	PyM	PyM 1H	PyM 2h	PyM 3h
2.-¿Desde cuándo?	Antes de 1980	1980	1990	2000
3.- ¿Los primeros habitantes son originarios de SLA?	si	no		
4.- En caso de que no sean originarios ¿De dónde son?	D.F	Edo. Mex	Otro	
5.- ¿Actualmente cuántas personas habitan la vivienda?	2	3	4	5
6.- ¿Cuántas familias habitan la vivienda?	2	3	4	5
7.- ¿Desde cuándo?	1980	1990	2000	2010
8.-¿Cuántos miembros de la familia tienen empleo/ trabajan?	1	2	3	4
¿Desde cuándo?				
Miembro 1 (papá)	1980	1990	2000	2010
Miembro 2 (Mamá)	1980	1990	2000	2010
Miembro 3 (Hijo 1)	1980	1990	2000	2010

Miembro 4(Hijo 2)	1980	1990	2000	2010
Miembro 5 (Hijo 3) (
Miembro (otros)				
9.-¿Ocupación miembros familia?				
Padre	Sin empleo	Servicios	Oficios	Comerciante
Madre				
Hijo1				
Hijo2				
Hijo 3				
Parientes				
10¿Lugar de trabajo?	SLA	D.F- Cuajimalpa	Edo Mex	Otro
Padre				
Madre				
Hijo1				
Hijo2				
Hijo 3				
Parientes				
11¿Medio transporte para ir al trabajo?	Transporte publico	Auto	A pie	Otro
Padre				
Madre				
Hijo1				
Hijo2				
Hijo 3				
Parientes				
12.- ¿Separa la basura?	Si	No		
13.- ¿Desde cuándo?	1980	1990	2000	2010
14.- ¿Cuenta con servicio de recolección de basura?	Si	No		
¿Desde cuándo?	1980	1990	2000	2010
15.- ¿Dónde deposita sus residuos?	camión	Depósito local	otro...	
16.-Desde que vive aquí, ¿Qué tanto se ha deteriorado el bosque de su entorno?	Mucho	Poco	Nada	

17.- ¿Cómo calificaría la calidad del servicio de agua potable con el que cuenta?	Bueno	Regular	Malo	
19.-¿Desde cuándo cuenta con agua potable?				
20.-¿Desde cuándo cuenta con alumbrado?				
21.- ¿Desde cuándo cuenta con drenaje?				

7.2 Cédula de observación de campo

Observación Vivienda					
Caso ()	Vivienda				
	Respuestas	1	2	3	4
VARIABLE URBANA	V	Toma Dom	Camión	Tinaco 1200lts	otro
	Pavimento frente/lote	Pavimento	Adoquín	Terrac.	
	Banquetas	si	no		
	Drenaje/lote	Drenaje	Fosa S.	No tiene	
	Alumbrado	si	no		
	Niveles contruidos	1	2	3	
	Calidad de la vivienda	Alto	medio	Bajo	
	Materiales	Tabicón/Acabados	Tabique S/Acabados	Precarios	
	Otra				
VARIABLE AMBIENTAL	Cantidad de Basura Entorno	Alta	Media	Baja	
	Cantidad de paisaje perturbado	Alta	Media	Baja	
	Deposito residuos	Camión	Depósito local		
	Riesgo (vulnerabilidad) inundaciones/deslaves	Alta	Media	Baja	

7.3 Usos de suelo y vegetación 2010. Fuente: (PAOT 2010)

USO	AREA (ha)
Asentamiento humano	329.28
Zona de crecimiento urbana	0.04
Agricultura de temporal	26.15
Invernadero	3.08
Pastizal	47.33
Vegetación secundaria arbustiva y herbácea	25.84
Zona sin vegetación aparente	0.01
Terracería	6.78
Vialidad pavimentada	41.04
Infraestructura	2.88
Bosque de pino	0.72
Bosque mixto de pino-oyamel (incluye oyamel-pino)	107.82
Bosque mixto de pino-oyamel (incluye oyamel-pino) perturbado	68.87
Bosque de oyamel	416.57
Bosque de oyamel perturbado	124.33
Bosque mesófilo de montaña perturbado	41.39
Pastizal de alta montaña	.16
Zona federal CFE (derecho de vía)	5.05
Bosque mixto Oyamel-Tepozan-Pino	189.13
Predio baldío	0.01
TOTAL	1436.57

7.4 Índice de Figuras

Figura 1. Esquema del porcentaje de infiltración superficial, infiltración profunda y escorrentía de agua de acuerdo al porcentaje de área sellada. Fuente: Modificado de: (Abhas J., et al. 2011).	26
Figura 2. Mapa que señala la localización de la zona de estudio sobre el territorio del D.F. Elaboración propia.....	40
Figura 3. Imagen aérea del 2010, muestra el poblado de SLA, los límites de la escala regional y el AGEB.	41
Figura 4. Perspectiva del Modelo Digital de Elevación (MDE) de San Lorenzo Acopilco. Las áreas en color negro señalan el área sellada en 2010. La línea amarilla señala límite AGEB. Los cuadros rojos señalan los casos de estudio y la línea azul señala el cauce del río Borracho. Fuente: Modificado de MDE (INEGI, 2010).	43
Figura 5. Análisis de pendientes. Elaboración propia con base en el MDE (INEGI 2010). 44	
Figura 6. Mapa de uso de suelo y vegetación 2010. Elaboración propia con base en cartografía de la PAOT (2010).	45
Figura 7. Gráfica que muestra los datos de las áreas urbana, agrícola y cubierta forestal en los años de estudio 1990, 2000 y 2010.....	48
Figura 8. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1989-1999. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala de corte regional 1:15,000.	50
Figura 9. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1999-2010. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala de corte ambiental 1:15,000.	52
Figura 10. Red de cambios de uso de suelo en SLA en el periodo 1989-2010. Los porcentajes se refieren al valor de cambio respecto al área total de la escala de corte regional.	53
Figura 11. Mapa de cambios de uso de suelo 1989-2010.....	54
Figura 12. Gráficas de tendencia al año 2020 del cambio en las áreas de usos de suelo a escala regional.	56
Figura 13. Mapa que señala la expansión urbana SLA en los años de 1989, 1999 y 2010. Fuente:	58
Figura 14. Proceso de urbanización en SLA en las décadas de 1990, 2000 y 2010.....	59
Figura 15. Gráfica de Densidad de Población SLA. Elaboración propia	60
Figura 16. Tendencia de cambio del Índice de naturalidad hacia el año 2020.....	62

Figura 17. Imagen aérea del 2010 que señala la ubicación de los 3 casos de estudio dentro de SLA.....	63
Figura 18. Imagen que señala la zona de estudio del Caso 1.	64
Figura 19. Mapa que señala los usos de suelo del Caso 1 en el año 2010.	65
Figura 20. Fotografía que nos muestra el contexto urbano del caso 1, cercano al casco antiguo del poblado. Estrato socioeconómico medio y medio-bajo. (Ver referencia en figura 18). Fotografía del autor.	66
Figura 21. Fotografía del caso 1. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 18).....	66
Figura 22. Graficas del caso 1. Muestran la población, el número de viviendas y el cambio de las áreas en relación con el tiempo.	67
Figura 23. Imagen aérea del 2010 que señala en el recuadro amarillo la zona de estudio del caso 2.....	69
Figura 24. Mapa que señala las áreas del caso 2. Se muestra en una retícula de 100 x 100mts.	71
Figura 25. Camino pavimentado hacia la barranca en el Caso 2. Se observa una cisterna de 2500 litros utilizada para distribuir agua a las viviendas. Estrato socioeconómico bajo. (Ver referencia en figura 23). Fotografía del autor.....	71
Figura 26. Viviendas en proceso de construcción cerca de la barranca. Caso 2. Estrato socioeconómico bajo. (Ver referencia Figura 23). Fotografía del autor.	72
Figura 27. Viviendas ubicadas cerca de la barranca del río borracho. (Ver referencia figura 23). Fotografía del autor.	72
Figura 28. Camino de tierra con escalones de madera al pie de la barranca en el Caso 2. Fotografía del autor.	73
Figura 29. Acumulación de basura orgánica e inorgánica en el Caso 2. Fotografía del autor.	73
Figura 30. Vista hacia el Río Borracho en el Caso 2. Fotografía del autor.....	73
Figura 31. Gráficas del caso 2. Población, Viviendas y Áreas en relación con el tiempo. ..	74
Figura 32. Imagen aérea del año 2010. El recuadro amarillo señala la zona de estudio del caso 3.....	77
Figura 33. Vista de una barranca y viviendas del caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia figura 32).....	78
Figura 34. Mapa que señala las áreas del Caso 3. Se muestra en una retícula de 100 x 100mts.	79
Figura 35. Calle del Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32).....	80

Figura 36. Calle y viviendas del Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32).....	80
Figura 37. Calle con adoquín en el Caso 3. Fotografía del autor. (Ver referencia en figura 32).....	81
Figura 38. Gráficas del caso 3. Población, Viviendas y Áreas en relación con el tiempo. ..	81
Figura 39. Comparación de las dinámicas de cambio en la población, el número de viviendas y las áreas de uso de suelo a escala local. Estudios de caso.	84
Figura 40. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 1. Señala en rojo las viviendas encuestadas.	85
Figura 41. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 2. Señala en rojo las viviendas encuestadas.	86
Figura 42. Fotografía aérea del año 2010 del Caso 3. Señala en rojo las viviendas encuestadas.	87
Figura 43. Grafica que muestra el tipo de abastecimiento de agua por caso de estudio en las viviendas encuestadas.....	88
Figura 44. Gráfica del tipo de pavimento por caso de estudio.	89
Figura 45. Gráfica que muestra la existencia o carencia de drenaje, así como las fosas sépticas por caso de estudio.	90
Figura 46. Fotografía que colecta y vierte el drenaje de diversas viviendas al río dentro del caso 2. Fotografía del autor.	91
Figura 47. Gráfica que muestra la relación de los niveles construidos por caso.....	92
Figura 48. Gráfica que muestra en porcentajes los materiales de las viviendas encuestadas por caso de estudio.	93
Figura 49. Fotografía que muestra una vivienda del caso 3 construida con materiales precarios.....	93
Figura 50. Gráfica que muestra el promedio de los m ² construidos por vivienda en relación al tiempo.	94
Figura 51. Gráfica que muestra la cantidad de basura en el entorno.....	95
Figura 52. Gráfica que muestra la cantidad de paisaje perturbado en el contexto inmediato a las viviendas encuestadas.	97
Figura 53. Fotografía del caso 2 en donde se observa el paisaje perturbado, el río de color gris y con espuma. En esta zona también se percibe un olor fétido en el río. Fotografía del autor.	97
Figura 54. Grafica de vulnerabilidad por vivienda encuestada por caso de estudio.	99

Figura 55. Grafica de dispersión que muestra el número de habitantes por vivienda y por caso de estudio en relación con el tiempo.	100
Figura 56. Gráfica de la mediana de salarios por caso en relación con el tiempo.....	102
Figura 57. Grafica que muestra el número de viviendas por caso de estudio.	103
Figura 58. Gráfica que muestra la densidad de población por caso de estudio.....	104
Figura 59. Consumo de agua por caso en Lts/Día/Hab	105
Figura 60. Habitantes por caso de estudio (16 hectáreas).	106
Figura 61. Gráfica de producción de residuos en Kg/Día/Caso.	107
Figura 62. Gráfica que muestra el incremento del área sellada y la pérdida de la recarga del acuífero en relación al tiempo.	108
Figura 63. Grafica que muestra la densidad de población y el vertido de agua por hectárea en relación al tiempo para el Caso 1.....	109
Figura 64. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en relación al tiempo para el Caso 1.	110
Figura 65. Grafica de Densidad de población Vs área sellada del caso 1.	111
Figura 66. Gráfica de Tendencias de Densidad Vs Basura. Caso 1.	112
Figura 67. Gráfica de Tendencias de Densidad Vs Vertido de agua. Caso 1.....	113
Figura 68. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m ³ /ha/año para el Caso1.	114
Figura 69. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en relación al tiempo para el Caso 2.	115
Figura 70. Grafica de Densidad de población Vs área sellada en el Caso 2.	116
Figura 71. Grafica de tendencia de Densidad Vs Vertido de Agua para el Caso 2.....	117
Figura 72. Gráficas de tendencia de densidad de población Vs Basura. Para el Caso 2. ...	118
Figura 73. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m ³ /ha/año. Caso 2.	119
Figura 74. Gráfica que muestra la densidad de población y el vertido de agua residual por hectárea en relación al tiempo para el Caso 3.	120
Figura 75. Grafica que muestra la densidad de población y la cantidad de basura producida por hectárea en el caso 3. Elaboración propia	120
Figura 76. Grafica de Densidad de población Vs área sellada del caso 3.	121
Figura 77. Grafica de tendencia de Densidad Vs Basura. Caso 3.	122

Figura 78. Grafica de tendencia de Densidad Vs Vertido de Agua. Caso 3.....	123
Figura 79. Gráfica de tendencia del área sellada y área libre Vs la recarga del acuífero en m ³ /ha/año. Caso 3.....	124
Figura 80. Gráficas de densidad de población vs producción de basura, vertido de agua residual y área sellada por caso de estudio.	125
Figura 81. Dendrograma de variables resultante del análisis de clúster.....	127
Figura 82. Dendrograma del análisis de clúster con las viviendas.....	128
Figura 83. Gráfica de ordenación del análisis de componentes principales. Los puntos representan las viviendas encuestadas.....	129
Figura 84. Gráfica de ordenación resultante del análisis de correspondencia sin tendencia. DCA.....	130
Figura 85. Mapa de fragmentación para el año 1989. Escala regional.....	132
Figura 86. Mapa de fragmentación para el año 1999. Escala regional.....	133
Figura 87. Mapa de fragmentación para el año 2010. Escala regional.....	135
Figura 88. Mapas de áreas y fragmentación del caso 1.....	137
Figura 89. Mapas de áreas y fragmentación del Caso 2.....	139
Figura 90. Mapas de áreas y fragmentación del Caso 3.....	141

7.5 Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de la población y tasas de crecimiento en delegaciones con SC. Fuente para los años 1990 y 2000: (Aguilar y Escamilla, 2009:37). Para el año 2010 se elaboraron cálculos propios con datos del INEGI 2010 y cartografía PAOT del SC.....	9
Tabla 2. Crecimiento urbano por tipo de propiedad en las delegaciones que tuvieron crecimiento en el periodo 1990-2000. Fuente: Base de datos el OCIM (Cruz R. 2011: 77)	12
Tabla 3. Índices de degradación de ecosistemas. Fuente: (Romero, M. 2009)	22
Tabla 4. Componentes, efectos, tiempos y consecuencias del sellamiento de suelos. Modificado con base en (Scalenghe 2009:3).....	25
Tabla 5. Tabla de indicadores recabados en campo.	31
Tabla 6. Indicadores utilizados a escala regional.	33
Tabla 7. Indicadores utilizados a escala local.....	34

Tabla 8. Categorías de bosque incluidas en la cubierta forestal 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010)	46
Tabla 9. Categorías de uso de suelo incluidas en el área sellada 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010).	47
Tabla 10. Categorías de uso de suelo Agrícola /otros, incluido en el área agrícola 2010. Elaboración propia con base en (PAOT 2010).....	47
Tabla 11. Uso de suelo en SLA en relación con el tiempo del periodo de estudio	48
Tabla 12. Matriz de cambio de uso de suelo de SLA periodo de 1989-1999.....	49
Tabla 13. Porcentajes de cambio de uso de suelo en el periodo 1989-1999.	50
Tabla 14. Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1999-2010.	51
Tabla 15. Porcentaje de cambio de uso de suelo 1999-2010.....	51
Tabla 16. Matriz de cambio de uso de suelo SLA periodo 1989-2010.	52
Tabla 17. Porcentaje de Cambio en el periodo total de estudio (1989-2010) a escala regional.	53
Tabla 18. Tasas de cambio. Escala regional.....	55
Tabla 19. Matriz de Markov periodo 1989-2010.	56
Tabla 20. Expansión urbana de SLA.	59
Tabla 21. Relación de hectáreas de bosque (B) por hectáreas de uso urbano (U) y hectáreas de bosque por habitante (Bhab).	60
Tabla 22. Índice de naturalidad a escala regional.....	61
Tabla 23. Número de viviendas del Caso 1 en las últimas tres décadas.....	65
Tabla 24. Áreas de uso de suelo del Caso 1 en los años 1989, 1999, 2010.....	65
Tabla 25. Índice de naturalidad Caso 1.	67
Tabla 26. Caso 1. Tasas de cambio del uso de suelo.....	68
Tabla 27. Caso 1. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010.....	68
Tabla 28. Caso 1. Matriz de Markov 1989-2010.....	69
Tabla 29. Número de viviendas del caso 2 en las últimas 3 décadas.	70
Tabla 30. Áreas de uso de suelo del Caso 2 en los años 1989, 1999, 2010. Elaboración propia	70
Tabla 31. Índices naturalidad caso 2.	74
Tabla 32. Tasas de cambio del uso del suelo. Caso 2.....	75

Tabla 33. Caso 2. Matriz de cambio de uso de suelo 1989-2010.....	75
Tabla 34. Caso 2. Matriz de Markov 1989-2010.....	76
Tabla 35. Número de viviendas del caso 3 en las últimas 3 décadas.	78
Tabla 36. Áreas uso de suelo. Caso 3.....	79
Tabla 37. Índice de naturalidad del Caso 3.	82
Tabla 38. Tasas de cambio del caso 3.	82
Tabla 39. Matriz de cambio de uso de suelo Caso 3. Periodo 1989-2010.....	83
Tabla 40. Caso 3. Matriz de Markov 1989-2010.....	83
Tabla 41. Fuente de abastecimiento de agua potable por caso de estudio.....	88
Tabla 42. Tipo de pavimento frente a la vivienda encuestada por caso de estudio.....	89
Tabla 43. Drenaje por vivienda por caso de estudio.....	90
Tabla 44. Tabla que muestra los niveles construidos por caso de estudio.	91
Tabla 45. Materiales de construcción de vivienda por caso de estudio.....	92
Tabla 46. Criterio de calificación de paisaje perturbado.	96
Tabla 47. Criterio utilizado para estimar la vulnerabilidad de las viviendas.	98
Tabla 48. Promedio de salario mensual y tipo de empleo. Elaboración propia con base en el observatorio laboral de la Secretaría del Trabajo.	100
Tabla 49. Error estándar de la media del salario por caso de estudio.....	101
Tabla 50. Datos de fragmentación a la escala regional en los años 1990, 2000 y 2010.....	134
Tabla 51. Datos del análisis de fragmentación del Caso 1 en los años 1990, 2000 y 2010.	136
Tabla 52. Datos del análisis de fragmentación del Caso 2 en los años 1990, 2000 y 2010.	138
Tabla 53. Datos del análisis de fragmentación del Caso 3 en los años 1990, 2000 y 2010.	140
Tabla 54. Parámetros de impacto ambiental en la periferia de Cuajimalpa, CDMX.	144