

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Análisis de la dinámica del uso del suelo en
El Cerro El Naranjo de 1954 a 2001,
empleando fotografía aérea**

**Claudia María Monzón Alvarado
00057**

**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Guatemala
2004**

**Análisis de la dinámica del uso del suelo en
El Cerro El Naranjo de 1954 a 2001,
empleando fotografía aérea**

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Análisis de la dinámica del uso del suelo en
El Cerro El Naranjo de 1954 a 2001,
empleando fotografía aérea

Trabajo de investigación presentado
Para optar al grado académico de
Licenciada en Biología

Claudia María Monzón Alvarado
00057

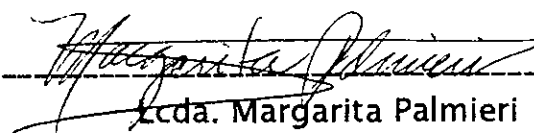
BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Guatemala
2004

Vo.Bo.:


(f) 

Dr. Edwin Castellanos

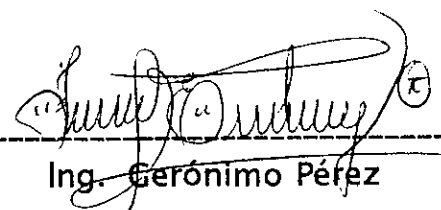
Tribunal:

(f) 

Lcda. Margarita Palmieri

(f) 

Dr. Edwin Castellanos

(f) 

Ing. Gerónimo Pérez

Fecha de aprobación: 5 de noviembre de 2004

PREFACIO

Siempre he tenido mucho interés por la geografía; desde niña me fijaba en las calles y avenidas y me gustaban los juegos de computadora en los que hay que hacer ciudades y manejarlas como si fuera el alcalde. En algún momento de mis estudios de Biología (segundo año) recibí un curso de Sistemas de Información Geográfica y descubrí, para mi sorpresa, que lo que siempre me había gustado tenía una aplicación en la investigación en campos tan variados como urbanismo, conservación, catastro y dinámicas de uso del suelo. A partir de ese año empecé a trabajar en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad del Valle.

En el 2003, hice mi estudio de verano sobre la dinámica de la cobertura boscosa en la Ciudad de Guatemala para el periodo 1990-2001 empleando imágenes de satélite. De las recomendaciones de este proyecto surgió la idea de trabajar con fotografías aéreas ya que estas presentan más detalle y son más accesibles en nuestro medio. Por ejemplo, las imágenes de satélite con las que se cuenta para la Ciudad de Guatemala tienen una resolución máxima de 30 metros y datan de 1986, mientras que las fotografías aéreas tienen mucho mejor resolución, ya que algunas tienen hasta un metro, y las más antiguas son de 1954.

El Cerro El Naranjo fue identificado en el estudio mencionado como una de las áreas de bosque más grandes que rodean la Ciudad de Guatemala. De hecho, por el crecimiento de ésta, el bosque ya se encuentra prácticamente dentro de la ciudad si se toma en cuenta las poblaciones de Mixco y Chinautla. Este bosque presta servicios ambientales como hábitat de biodiversidad, zona de recarga hídrica y área de paisaje con potencial para recreación.

El análisis de la dinámica del uso del suelo en los últimos 47 años permite saber cuáles han sido las presiones de la tierra en este periodo y, por lo tanto, determinar en qué medida la cobertura boscosa actual está siendo amenazada.

La obtención de las fotografías aéreas se logró gracias a la cooperación del Instituto Geográfico Nacional quienes me permitieron realizar la búsqueda en sus bodegas y revisar rollo por rollo hasta encontrar la información que necesitaba. Fue una etapa muy interesante del estudio ya que percibí la cantidad de fotos que existen del país (anteriores a 1980) que no se encuentran registradas o almacenadas de una forma apropiada para su preservación. Considero que ésta es una fuente de información muy valiosa y que se deberían de realizar esfuerzos para que no se pierda. Quisiera agradecer a Nineth, César, Francisco, Sonia y muy especialmente a Jorge Mansilla por el tiempo que me brindaron, por su entera disponibilidad y buen sentido del humor, así como por aguantar los malos olores de los rollos en proceso de descomposición.

Para la realización de este trabajo, tuve el apoyo incondicional del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad del Valle de Guatemala y de todos mis compañeros de trabajo, en la compra de las fotografías, uso de equipo y licencia de software, sugerencias y apoyo moral. Muy particularmente el apoyo de Luis Fernando Delgado, quien me socorrió en los viajes de campo, con toda la logística que esto implica. Desde la elaboración de los mapas hasta compartir la satisfacción del éxito de la verificación en campo. Por último, quiero agradecer a mis asesores Edwin Castellanos y Manuel Basterrechea por sus sugerencias tan valiosas y su desinteresado deseo de apoyarme a lo largo de esta investigación... Y por supuesto a mis papás por brindarme la oportunidad de estudiar lo que me apasiona y apoyarme siempre en todo lo que está a su alcance.

CONTENIDO

	página
PREFACIO.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	
A. ANTECEDENTES.....	1
1. Caracterización del Distrito Metropolitano.....	1
2. El Cerro El Naranjo.....	3
3. Crecimiento urbano.....	4
4. Empleo de fotografías aéreas.....	9
5. Clasificación de la vegetación.....	12
6. Aplicación de la fotointerpretación en el uso del suelo.....	13
B. JUSTIFICACIÓN.....	14
C. OBJETIVOS.....	16
II. METODOLOGÍA	
A. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
B. OBTENCIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.....	17
C. USO DEL SUELO.....	19
D. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOsa.....	21
E. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE.....	22
1. Áreas de bosque susceptibles a urbanizarse.....	22
2. Áreas potenciales a reforestarse.....	23

	Página
III. RESULTADOS	
A. USO DEL SUELO.....	24
1. Comparación de áreas por años.....	24
2. Tasas de cambio.....	26
3. Variación de la cobertura con respecto al tiempo.....	28
B. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOA.....	29
C. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE.....	31
IV. DISCUSIÓN	
A. USO DEL SUELO.....	37
1. Urbano.....	37
2. Cultivos.....	39
3. Cobertura vegetal no boscosa.....	40
4. Bosque.....	40
B. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOA.....	41
C. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE.....	42
1. Bosques susceptibles a urbanizarse.....	42
2. Áreas potenciales para reforestarse.....	44
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. RECOMENDACIONES.....	49
VII. LITERATURA CITADA.....	51
VIII. APÉNDICES.....	
1. Proyectos de ley y propuestas de delimitación del Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala y del Distrito Metropolitano.	54
2. Glosario	56
3. Especificaciones del sistema de coordenadas Guatemala Transverse Mercator (GTM)	59
4. Geo-referenciación de las fotografías aéreas de 1954 y 1981	60
5. Interpretación de las fotografías aéreas	62

LISTA DE CUADROS

Cuadro	página
1 Cobertura vegetal del Distrito Metropolitano.....	1
2 Zonas de vida del Distrito Metropolitano.....	2
3 Crecimiento demográfico urbano del Área Metropolitana Guatemalteca.....	7
4 Descenso en los niveles de aguas subterráneas en la Ciudad de Guatemala	7
5 Clasificación de la vegetación de acuerdo a la FAO, 1973.....	12
6 Comparación de uso de la tierra en 1980-2000 por categoría y superficie en la cabecera departamental de Chimaltenango.	14
7 Categorías del suelo empleadas en la interpretación de las fotografías aéreas.....	19
8 Criterios empleados para definir la significancia en el cambio de uso del suelo.....	21
9 Codificación de los bosques en los años de estudio.....	21
10 Relación entre el código del bosque y la permanencia del mismo.....	22
11 Tasas de cambio en tres períodos de estudio para los tipos de cobertura estudiada en el Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	28
12 Comparación entre los bosques susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse en el Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura		página
1	El Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	5
2	Delimitación del Distrito Metropolitano y Área Metropolitana guatemalteca de acuerdo al EDOM.....	9
3	Localización del área de estudio.....	18
4	Uso del suelo en los años 1954, 1981 y 2001 en el Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	25
5	Porcentaje de los tipos de uso del suelo con relación al área total para cada año de estudio, 1954, 1981 y 2001 en el Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	26
6	Variación de los tipos de cobertura con respecto al tiempo.....	29
7	Cambios de la cobertura boscosa entre 1954 y 2001 en el cerro El Naranjo y su área de influencia. Permanencia de los bosques de distribución actual.....	30
8	Áreas de cobertura boscosa susceptibles a urbanizarse de acuerdo a su pendiente y tipo de cobertura en 1954.....	32
9	Áreas de cobertura no boscosa potenciales a reforestarse de acuerdo a su pendiente y tipo de cobertura en 1954.....	34
10	Comparación entre los bosques susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse en el Cerro El Naranjo y su área de influencia.....	36

RESUMEN

El Cerro El Naranjo es un área de bosque dentro de la Ciudad de Guatemala que presta servicios ambientales de hábitat de biodiversidad, zona de recarga hídrica y área de paisaje con potencial para recreación. Esta área se encuentra fuertemente amenazada por el desarrollo urbano desde la década de los 80's, por lo que surge la necesidad de comprender cuáles son las áreas de bosque más susceptibles a perderse y por lo tanto qué áreas deberían protegerse. En este trabajo se analizó la dinámica del uso del suelo del Cerro El Naranjo y su área de influencia en el período de 1954 a 2001, identificando los cambios en la presión del suelo. La fuente de información y herramienta empleada para este análisis fueron fotografías aéreas de los años 1954, 1981 y 2001. Se establecieron 4 categorías de uso: urbano, cultivos, bosque y áreas no boscosas como pastizales y arbustales. Las fotografías fueron interpretadas visualmente, se digitalizaron los polígonos de uso del suelo empleando el programa ArcMap 8.2 y se cuantificaron las áreas de cada uso.

Se determinó que entre 1954 y 2001 la tasa de crecimiento del área de cobertura urbana del Cerro El Naranjo y su área de influencia fue de 812% siendo en 1954-1981 cuando mayor aumento se presentó. Este crecimiento se dio a expensas del área de cultivos -relación comprobada con una regresión lineal en la que los coeficientes resultan similares y de signo opuesto (0.7 para urbano y -0.8 para cultivos)-. Si se analiza todo el período, el cambio en el área de bosque no es significativo (-6.9%) ya que este valor es menor que el error en la interpretación de las fotografías aéreas (7%). Sin embargo la tendencia desde 1981 es que el bosque disminuya presentando una tasa de cambio de -25% en el período 1981-2001. Asimismo, se percibe un fuerte proceso

de fragmentación –indicador del deterioro ambiental–, como en el caso del barranco del río Guacamaya que resultó completamente aislado por las colonias 1° de Julio y Bosques de San Nicolás, quedando eliminada la conexión entre este barranco y el Cerro El Naranjo. Una consecuencia de la construcción de la carretera El Naranjo es la alta probabilidad de que el bosque del río Naranjo quede incomunicado con el Cerro El Naranjo, por lo tanto el bosque que los comunica debe mantenerse.

Se analizó además la permanencia de los bosques del área, obteniéndose que 36% del bosque del Cerro El Naranjo y su área de influencia tiene más de 47 años. Por otra parte se identificaron los bosques que son más susceptibles a urbanizarse por encontrarse en terrenos con pendientes menores a 10% o cuyo uso del suelo en 1954 era cultivos; 39.1% del área total de bosque reúne estas dos condiciones. De igual forma se identificaron las áreas no boscosas que podrían reforestarse sumando un total de 312.3 ha. Tanto el grado de urbanización como de reforestación están sujetos a la tenencia de la tierra, la demanda de vivienda, acceso al área, tipo de suelo y a la municipalidad, estas variables no fueron incluidas en las aproximaciones.

Tomando en cuenta las áreas de bosque maduro más grandes, se identificaron las áreas de bosque prioritarias para protección, éstas son: el bosque del Cerro El Naranjo, el río Naranjo, el río Molino y el río Guacamaya. Es importante mantener una conexión entre estos parches de bosque que permite un flujo de biodiversidad; para ello es importante reforestar áreas críticas como la parte norte del río Naranjo que aseguran la comunicación de las islas de bosque.

I. INTRODUCCIÓN

A. ANTECEDENTES

1. Caracterización del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Guatemala. El Distrito Metropolitano, definido en 1996 por el Congreso de la República es, «el ente administrativo encargado de planificar, promover y coordinar la ejecución de proyectos de infraestructura y servicios públicos de carácter metropolitano que cubren dos o más municipios de Guatemala» (ver Apéndice 1). Este incluye los 17 municipios del departamento de Guatemala (AVANCSO 2001).

La cobertura forestal del Distrito Metropolitano ha sido históricamente reducida, sobre todo por el avance de las fronteras agrícola y urbana, en particular para la siembra de cultivos anuales, el asentamiento de centros poblados y agricultura mixta. Entre 1998 y 1999 hubo un promedio de 264 incendios forestales en la región, para aumentar a 1,908 en 2000 y luego disminuir levemente a 961 en 2001 (Garzona 2002).

Actualmente existen 12,000 hectáreas de áreas verdes en barrancos de la región, que sirven para diluir la contaminación atmosférica, prevenir la erosión del suelo, aumentar la infiltración del agua de lluvia, mantener elementos del paisaje y conservar el hábitat para especies de fauna y flora. A continuación se presenta el Cuadro 1 con la cobertura vegetal para el Distrito Metropolitano, determinado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAGA, en el año 2001.

Cuadro 1. Cobertura vegetal del Distrito Metropolitano

Tipo de cobertura	Hectáreas	Porcentaje
Sin cobertura forestal	103,820.66	47.0
Bosque secundario y arbustos	6,370.57	2.9
Latifoliadas y cultivos	18,397.90	8.3
Mixto y cultivos	42,824.81	19.4
Latifoliadas	197.39	0.1
Mixto	34,149.11	15.5
Secundario y arbustos	15,016.63	6.8

Fuente: MAGA, 2001 (I)

De acuerdo al mapa de zonas de vida de De La Cruz (1983), las zonas de vida del Distrito Metropolitano son cuatro, predominando el bosque húmedo subtropical templado (ver Cuadro 2). Estas son determinadas por las condiciones de bio-temperatura, precipitación y humedad de la zona. Esto tiene particular importancia para la producción agrícola, así como para la protección y uso sostenible de recursos naturales como suelos, bosques, agua y diversidad biológica (Garzona 2002).

Cuadro 2. Zonas de vida del Distrito Metropolitano

Zonas de vida	Hectáreas	Porcentaje
Bosque húmedo montano bajo sub-tropical	44,973.03	20.4
Bosque húmedo subtropical templado	132,488.43	60.0
Bosque muy húmedo subtropical cálido	21,823.71	9.9
Bosque seco subtropical	19969.82	9.0
Cuerpos de Agua	1,522.09	0.7

Fuente: MAGA, 2001 (II)

El Distrito Metropolitano está representado en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) por 12,313 ha bajo protección, aunque algunas son compartidas con otros departamentos como Sacatepéquez y Escuintla. Estas áreas son el Cerro Alux, el Volcán de Pacaya, el Parque Naciones Unidas y el Volcán de Agua, sumando un 0.14% del SIGAP y un 2.10% del Departamento de Guatemala.

La política nacional y estrategia de desarrollo del SIGAP, elaborada por CONAP en 1999 plantea en el tema de conservación de bosques, áreas silvestres, diversidad biológica y uso sostenible de servicios ambientales en el Área Metropolitana guatemalteca, la consolidación del proyecto Cinturón Ecológico Metropolitano, que incluiría barrancos y áreas de protección como parques y monumentos naturales. En total se incluirían nueve áreas protegidas, tanto las cuatro que están dentro del departamento de Guatemala o que son compartidas con otros departamentos, así como otras cinco que están en departamentos vecinos como Santa Rosa y Sacatepéquez, pero cuya administración competaría a la oficina metropolitana de CONAP. Esto llegaría a totalizar más de 15,000 ha que sería un 0.70% del SIGAP y 7.2% del Distrito Metropolitano. Estos sitios prestan servicios ecológicos como protección de cuencas y manantiales, recursos energéticos, paisaje,

ecoturismo, fijación de emisiones de carbono, disminución de vulnerabilidad y, en el caso de los volcanes, también sirven a la industria de telecomunicaciones (CONAP 1999). Por ejemplo, en la parte más alta del Volcán de Agua y en el Cerro El Naranjo, se encuentran torres de triangulación colocadas por el Instituto Geográfico Nacional (Diccionario Geográfico Nacional 1973). El fortalecimiento del manejo de las áreas de conservación y el uso sostenible de sus servicios ambientales debe tener como uno de sus fines estratégicos la producción de recursos hídricos (Garzona 2002).

De acuerdo a un estudio realizado por Monzón (2004) en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad del Valle de Guatemala sobre el cambio de cobertura forestal 1990-2001 en la Ciudad de Guatemala y sus alrededores empleando imágenes de satélite Landsat 7, se determinó que en la última década los municipios que cuentan con una mayor extensión de concreto y que han aumentado más el área del mismo son Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Asimismo se determinó que los municipios de Petapa, San Juan Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula y Villa Canales, aumentaron más de 100% su cobertura de concreto, en el último municipio el área urbana se multiplicó 10 veces en los últimos 10 años.

Uno de los resultados del estudio del 2004 fue la identificación de 10 áreas de bosque dentro de la región metropolitana, estas son: Cerro Guachisote, Cumbres de Vista Hermosa, Cayalá y Reserva Militar Mariscal Zavala al este de la ciudad; Ciudad Nueva, Hipódromo del Norte y Los Suretes al norte; y Cerro Alux, Kaminal Juyú y Cerro El Naranjo al oeste de la Ciudad de Guatemala (Monzón 2004).

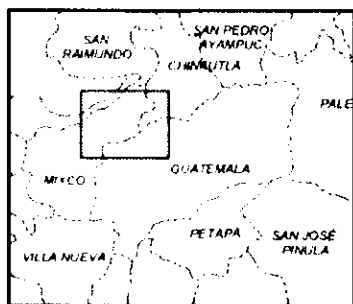
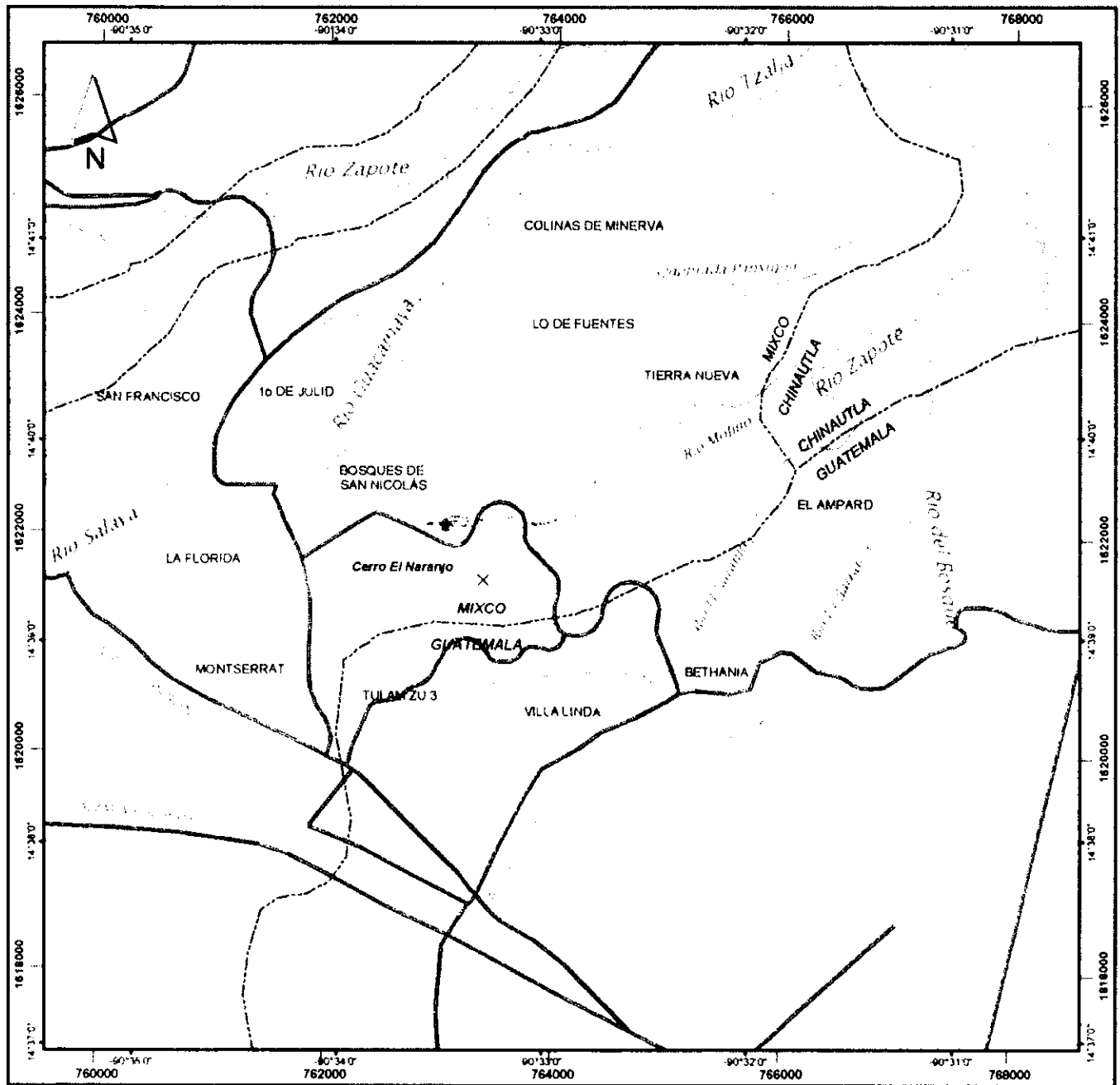
2. El Cerro El Naranjo. El Naranjo es un conjunto de fincas: Concepción Naranjo, San Nicolás Naranjo y San José Naranjo. En 1973, esta área fue censada como un caserío de acuerdo a como estaba inscrita en la Municipalidad de Mixco. En este censo se determinó que la población era de 436 habitantes: 212 hombres, 224 mujeres; 182 alfabetos y 277 indígenas (Diccionario Geográfico 1973).

En esta zona se encuentra el Cerro El Naranjo, en los municipios de Guatemala y Mixco, al noreste de la colonia Montserrat y al sur de la aldea Lo de Fuentes. En su cima (1697 m SNM) se encuentra una estación de triangulación del IGN (Diccionario Geográfico 1973). La Figura 1 muestra la topografía quebrada del área con los ríos o quebradas cercanas al cerro, como el río Salayá, río Guacamaya, río Zapote, río Tzajjá, río Molino, río El Naranjo, río Zapote, río La Barranca, río del Bosque y quebrada Pansigüir. Existen una serie de colonias residenciales como Montserrat, La Florida, Bosques de San Nicolás, Colonia Primero de Julio, Aldea Lo de Fuentes, Colinas de Minerva, Bethania, entre otras.

De acuerdo al Diccionario Geográfico, en 1973 existía la Laguna El Naranjo, al sur del Cerro El Naranjo, en la zona 7 de la Ciudad de Guatemala, colindante con Mixco. Su desagüe era el río El Naranjo. Desde esta época, la parte sur de la laguna se había empezado a desecar y había formado unas areneras (Diccionario Geográfico 1973). Actualmente la laguna se encuentra completamente seca.

3. Crecimiento urbano de la Ciudad de Guatemala. De acuerdo al Perfil Ambiental de Guatemala, una de las causas del deterioro ambiental y presión sobre los recursos naturales es la alta densidad de población y el crecimiento poblacional. Esto se debe en gran medida a las migraciones hacia regiones con mayores oportunidades de trabajo; por ejemplo el departamento de Guatemala tiene un 67% de emigrantes de otros municipios. Esta alta proporción de inmigración se debe ante todo a un alto número de migrantes antiguos, frente a un menor número de migrantes recientes (URL *et al.* 2004).

Figura 1. El Cerro El Naranjo y su área de influencia



Área ampliada

Referencias

- Caminos principales
- Caminos secundarios
- Curvas de nivel cada 10m
- Ríos o quebradas
- Límites municipales
- Calles de la ciudad

Escala 1:50,000



Cuadrícula WGS 84 UTM zona 15N

Fuente: Mapa Topográfico JICA/IGN 1:50,000

Base de datos digital MAGA 1:250,000

Según el censo del 2002, la población del Área Metropolitana Guatemalteca es de 2,258,425 (INE 2003) (ver Cuadro 3). El área urbana de la región metropolitana alcanzaba 18 mil ha en 1988, 24 mil ha en 1990, 35 mil ha en 1998, proyectando hasta el 2010 un ritmo de expansión anual de 3.6%, con lo que se estima que alcanzará una extensión de 55 mil ha. Lo anterior indica que en los 12 años comprendidos entre 1988 y 2000, se ocupó más suelo urbano que el que se ocupó en los 224 años anteriores desde la fundación de la ciudad en 1776. Este crecimiento no ha sido ordenado y ha seguido más bien la lógica de los patrones de asentamiento según las capacidades socioeconómicas de la población, la dirección de los ejes principales de circulación, es decir acceso y salida de la ciudad, así como las características geomorfológicas del valle de la ciudad (García 2000).

En la década de 1950 se inician los cambios significativos en la Ciudad de Guatemala, en términos del crecimiento demográfico explosivo, una expansión urbana de dimensiones sin precedentes. Estos cambios están directamente relacionados con el rol que asume la ciudad dentro del sistema productivo del país, como fruto de una economía capitalista de agroexportación (AVANCSO 2003).

El gran crecimiento urbano de la ciudad a partir de los años 50 coincide con el desarrollo relativo de los sectores industrial y de servicios del país, el cual se concentró en el municipio de Guatemala, Mixco y Villa Nueva (ver Cuadro 3). Las cifras oficiales indican que el área metropolitana ha monopolizado prácticamente la actividad industrial. Para 1968 el 90% de la industria manufacturera se localizaba en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. En 1975 de los 41,694 trabajadores industriales cerca de 35,000 residían en el área metropolitana (AVANCSO 2003).

Cuadro 3. Crecimiento demográfico urbano de los municipios del Área Metropolitana Guatemalteca

Municipio	Población urbana			
	1950*	1973*	1981**	2002*
Guatemala	284,922	700,504	754,243	942,348
Mixco	4,134	115,015	179,293	403,689
Villa Nueva	3,018	32,494	56,648	355,901
Petapa	1,359	2,661	9,619	101,242
Villa Canales	1,381	3,356	3,909	103,814
Amatitlán	6,761	15,251	21,959	82,870
Santa Catarina Pinula	1,160	3,129	4,925	63,767
San José Pinula	1,890	3,694	5,296	47,278
Fraijanes	1,486	2,646	3,121	30,701
San Pedro Ayampuc	2,776	3,345	3,842	31,503
Chinautla	1,672	26,762	20,077	95,312
Total del AMG	310,559	908,857	1,062,932	2,258,425

Fuente:

* Datos oficiales INE 1950, 1973, 2002

** AVANCSO 2003. Estos datos están corregidos y aumentados, obtenidos de la suma de la población considerada urbana por el censo y la que habitaba en colonias, asentamientos, lotificaciones, residenciales y urbanizadoras, categorías asignadas pero no definidas por el INE. Esto se hizo con el fin de que las cifras sean comparables debido a que la metodología del censo de 1981 fue distinta a la de los otros años.

El acelerado crecimiento demográfico generó una serie de consecuencias de contaminación del medio ambiente y manejo de recursos naturales. De acuerdo a Martínez (2002), los mantos acuíferos de la Ciudad de Guatemala están siendo sobre explotados con un incremento de la profundidad de 1 a 2 metros anuales dependiendo de la zona (Cuadro 4). En algunos puntos se han reportado caídas de más de 10 metros (en varios años) que han obligado a EMPAGUA a reducir la producción de varios pozos del Programa Emergencia I. Esto está causado por la alta tasa de urbanización de las zonas de recarga, que restringe las zonas de infiltración, y por la falta de regulación en la perforación de pozos.

Cuadro 4. Descenso en los niveles de aguas subterráneas en la Ciudad de Guatemala

zonas (áreas)	Muestreo (años)	Descenso promedio (m/año)
Zonas 9,10 y 14	17	0.79
Zona 15	17	0.3
Zonas 1 y 2	26	2.28
Zona 6	13	2
La Florida	26	1.57
Ciudad San Cristóbal	18	0
Molino de Las Flores	16	1.47
Zonas 12 y 21	26	0.99
Promedio	17.9	1.18

Fuente: Perfil Ambiental de Guatemala URL, IIA, 2004

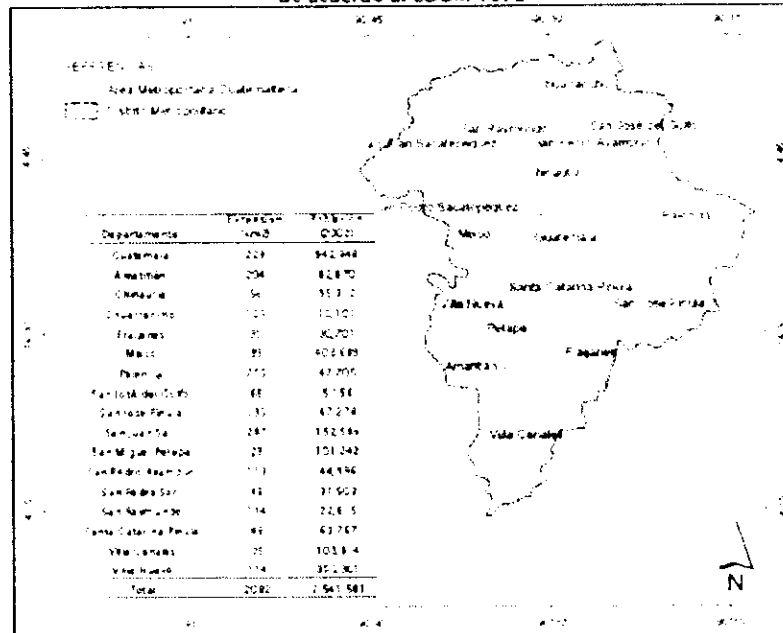
El crecimiento poblacional al que se hace alusión, fue el motor para que ciertas administraciones realizaran intentos por planificar el crecimiento urbano de la región metropolitana siendo los más relevantes los siguientes:

- La Oficina del Plan de Desarrollo Metropolitano de Guatemala, PLANDEMET, creada por el Instituto Nacional de Vivienda (INVI) en julio de 1969
- El Esquema Director de Ordenamiento Metropolitano, EDOM en 1972–2000
- Metrópolis 2010

El PLANDEMET delimitó el Área Metropolitana Guatemalteca (AMG) tomando en cuenta la accesibilidad, equipamiento urbano, importancia de las actividades productivas, y migración. Se establece que el AMG estaría integrada por los municipios de Guatemala, Santa Catarina Pinula, Mixco, Villa Nueva, Amatitlán, Petapa y las partes más urbanizadas de Chinautla y Villa Canales. Esta delimitación solamente tomaba en cuenta las áreas más urbanizadas dejando de lado las interrelaciones campo-ciudad, básicas para la comprensión del proceso de expansión metropolitana. En cualquier caso el PLANDEMET no se llevó a la práctica (AVANCSO 2001).

En 1972 el EDOM y la Municipalidad de Guatemala, plantean otra definición para el AMG. En dicha propuesta se toman en cuenta las características del espacio geográfico, las tendencias de crecimiento, el proceso de urbanización al que están sometidas las áreas adyacentes y las funciones que cumplen a nivel nacional los sectores económico, político y cultural. Esta incluye los 11 municipios más cercanos a la ciudad capital, ubicados al centro y sur del departamento de Guatemala: San Pedro Sacatepéquez, Chinautla, Mixco, Guatemala, Villa Nueva, Petapa, Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Amatitlán, Fraijanes y Villa Canales (AVANCSO 2001). La Figura 2 muestra el Distrito Metropolitano y el Área Metropolitana Guatemalteca definidas por el EDOM en 1972.

Figura 2. Delimitación del Distrito Metropolitano y Área Metropolitana Guatemalteca de acuerdo al EDOM 1972



Fuentes: Diccionario Municipal (áreas municipales), INE 2003 (población)

En 1995, el proyecto denominado «Metrópolis 2010» y la Municipalidad de Guatemala definen el Área Metropolitana Guatemalteca AMG como el «área conurbana de la Ciudad de Guatemala mas su área de influencia inmediata». En esta definición no se especifica qué municipios forman parte del «área conurbana» ni hasta dónde llega el área de influencia inmediata; pero sí se indica que el área queda dentro del departamento de Guatemala (AVANCSO 2001).

4. Empleo de fotografías aéreas. Las fotografías aéreas son ampliamente empleadas como base para anotar datos del suelo. El estudio de las fotografías aéreas da indicios sobre la forma de las superficies, la vegetación y el color del suelo.

Antes de que se puedan interpretar las fotografías aéreas, deben identificarse en ellas características del terreno. La identificación se realiza por reconocimiento directo, por deducción o por una combinación de ambos procedimientos. Las redes de caminos, las construcciones, vegetación arbustiva y arbórea, campos de cultivos y

cuerpos de agua pueden identificarse en una fotografía por su forma y variación de tonalidad. También al estudiar las fotografías simples se obtiene información sobre el uso de la tierra y las prácticas de administración (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

Se pueden identificar formas de la tierra y otras características naturales, aunque generalmente éstas son más difíciles de identificar que los objetos hechos por el hombre o superficies modificadas. Por ejemplo, las colinas bajas generalmente son más difíciles de localizar que los diques, debido a que los últimos tienen pendientes mayores y líneas más regulares. Algunas formas simples como terraplenes, llanos inundados y dunas de arena pueden ser fácilmente identificados mientras que las morenas, llanos de pizarra y las tierras altas de piedra caliza sólo pueden inferirse mediante el uso de fotografías aéreas (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

La vegetación se identifica en una fotografía única y principalmente por el tono, las praderas, los bosques y los campos de cultivo se pueden apreciar en fotografías sencillas. Los árboles coníferos y los de hoja caduca, los de crecimiento tierno y maduro generalmente se pueden distinguir también por el tono. Muchos silvicultores pueden identificar las especies dominantes en los bosques, comparando las alturas de los árboles y el tamaño y forma de sus copas. Se debe tomar en cuenta la estación en la que se toma la fotografía ya que la apariencia de la vegetación cambia con la estación. Los árboles caducifolios fotografiados en invierno tienen una apariencia de encaje y un tono más claro que los árboles coníferos (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

Puesto que los objetos hechos por el ser humano tienen límites agudos, generalmente son más fáciles de identificar en las fotografías aéreas que los de características naturales. A continuación se describen los elementos creados o

modificados por el ser humano que pueden ser fácilmente identificados en las fotografías aéreas:

a. Bosques de explotación, campos y huertos. Por las variaciones del tono en la fotografía, el intérprete puede decir cómo se emplea la tierra. Los campos pueden identificarse por sus límites definidos y sus estructuras de oscuros y claros. Las cosechas de trigo o maíz pueden identificarse por los puntos espaciados regularmente. Las parcelas con cultivos limpios tienen una configuración de puntos más grandes y más espaciados. Las terrazas y las barreras muertas o vivas tienen franjas alternadas de claros y oscuros.

b. Construcciones. Las construcciones pueden reconocerse por sus formas angulares y sus tonos contrastados. La parte del techo directamente expuesta al sol aparece en la fotografía en tono claro y contrasta marcadamente con la sombra que proyecta la construcción. Las edificaciones en el área rural se encuentran generalmente en pequeños grupos rectangulares a un lado o al final de los caminos.

c. Caminos, veredas y calles. Los caminos y las veredas generalmente se ven en la fotografía como líneas claras. Los caminos mejorados tienen un ancho uniforme, tramos rectos, curvas uniformes y suaves, mientras que los caminos no mejorados son irregulares en su ancho y tienen curvas más agudas. Unos cuadrados grandes y uniformes limitados por caminos sugieren áreas rurales fragmentadas; unos racimos o grupos pequeños de rectángulos indican presencia de poblados o ciudades.

d. Ferrocarriles. Comparados con los caminos, los ferrocarriles son más angostos, tienen curvas más largas y más suaves y se ven oscuros en las fotografías aéreas. A lo largo de la vía pueden observarse cortes y terraplenes, empalmes, desvíos muertos, estaciones y bodegas.

e. *Puentes y túneles.* Los puentes pueden localizarse siguiendo el curso del camino o del ferrocarril hasta que cruce con la corriente de agua y observando la interrupción del tono causada por el puente. Frecuentemente el tipo de puente puede identificarse por su sombra. Los túneles pueden identificarse por los puntos oscuros de su entrada, por los escombros cerca de la misma y por la terminación abrupta del camino, ferrocarril o canal (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

5. Clasificación de la vegetación. El método más sencillo para la clasificación consiste en separar las áreas con vegetación y sin vegetación, seguido por una subdivisión en la que se identifican los sitios productivos y los no productivos. Como una alternativa, las áreas con vegetación se pueden clasificar de acuerdo a su tipo de ecosistema como bosque seco, pastizales, bosque, tundra. Los problemas encontrados en la clasificación son: 1) definir tipos de vegetación cuyas clases sean mutuamente excluyentes, 2) determinar una forma de manejar las zonas de transición, es decir, zonas en las que un tipo de vegetación cambia gradualmente a otro tipo de cobertura.

En 1973 la FAO propuso el sistema de clasificación que se presenta en el Cuadro 5. Esta clasificación se diseñó basándose en un área cuyo uso del suelo era variado, de esta forma esta herramienta puede ser empleada en distintos proyectos de inventario, especialmente en países tropicales. El primer paso en la clasificación es distinguir entre agua y suelo, seguido por la clasificación del suelo en las categorías que aparecen en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de la vegetación de acuerdo a la FAO, 1973.

ÁREAS BOSCOSAS	OTRAS ÁREAS BOSCOSAS	ÁREAS NO BOSCOSAS
Bosques naturales	Savana: campos abiertos	Uso agrícola
Latifoliadas	Arbustales	Cultivos y pastos mejorados
Coníferas	Árboles en línea	Plantaciones
Latifoliadas - coníferas	Otras áreas	Otros usos
Bambúes		Pastizales
Mangle		Pantanos
Palmeras		Tundra
Bosques artificiales		Urbano
		Comunicaciones

Fuente: FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1973

6. **Aplicación de la fotointerpretación en el uso del suelo.** Con la fotointerpretación se pueden elaborar mapas de cobertura vegetal y uso del suelo, para localizar rutas de acceso, definir límites de propiedades o medir áreas. Además, se pueden determinar especies de árboles, identificar incendios, plagas o patologías vegetales. Las fotografías aéreas han servido como herramienta para el monitoreo y manejo de vida silvestre, investigaciones en campo y determinación de volumen y masa de bosques (Avery 1977).

Para el análisis de desarrollo económico en cualquier área, el uso del suelo provee una herramienta valiosa como indicador del crecimiento rural, urbano o industrial. Una secuencia de imágenes aéreas permite evaluar los patrones en el uso del suelo en dos momentos distintos (Avery 1977).

Por medio de la comparación de las fotografías de una misma área, tomadas con una diferencia de varios años, puede estimarse el grado y alcance de erosión, especialmente en zanjas profundas y márgenes de las corrientes de agua. Pueden definirse los meandros de las corrientes de agua y los cambios en el uso de la tierra. También es posible determinar el daño causado por los incendios en las llanuras de los bosques (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

Frecuentemente se emplean las fotografías tomadas antes y después de inundaciones para apreciar el daño que éstas provocaron. Las fotografías de "antes" y "después" también indican los cambios causados por la construcción de una gran presa y por el embalse que se formó. Puede estimarse el grado de crecimiento urbano, la construcción de carreteras o instalación de líneas de fuerza eléctrica en tierras agrícolas (Departamento de Agricultura EEUU 1966).

En el Perfil Ambiental de Guatemala (2004) se presenta un estudio de caso en el que se realizan análisis de cambios empleando fotografías aéreas; éste fue realizado en el período 1980–2000 en la cabecera departamental de Chimaltenango.

Uno de los resultados de este análisis es la cuantificación de los cambios de uso del suelo; se percibe un aumento del área urbana (ver Cuadro 6) debido, entre otras cosas, al crecimiento poblacional y al conflicto armado interno. Este crecimiento se hizo sobre tierras anteriormente dedicadas a cultivos anuales, las cuales disminuyeron 45.7% de su área en 1980.

Cuadro 6. Comparación del uso de la tierra en 1980-2000 por categoría y superficie

Categoría de uso	Superficie 1980		Superficie 2000		Diferencia	
	ha (cientos)	%	ha (cientos)	%	ha (cientos)	%
Urbano	3.19	4.56	9.53	13.58	6.34	141.8
Agricultura	42.73	61.05	34.74	49.56	-8.72	-45.7
Cobertura no boscosa	2.92	4.17	3.92	5.6	1	58.8
Bosques	21.16	30.23	21.83	31.19	0.67	3.1

FUENTE: Perfil Ambiental de Guatemala, 2003. Modificado: en la categoría "urbano" se incluye urbano residencial, viviendas dispersas, lotificación, centro educativo, base militar, recreación, industria y cementerio. En la categoría "agricultura" se incluye agricultura anual, agricultura anual más hortalizas y viveros. En la categoría "cobertura no boscosa" se incluye pastos naturales y arbustos.

B. JUSTIFICACIÓN

El Cerro El Naranjo es un remanente de bosque que presta servicios ecológicos como hábitat de biodiversidad, zona de recarga hídrica y área de paisaje con potencial para recreación. Actualmente esta área se encuentra amenazada por su cercanía a espacios residenciales, comerciales e industriales teniendo un fuerte proceso de urbanización desde hace más de una década. Por otra parte parece que el área no tiene un plan de manejo que establece el uso adecuado de los recursos naturales.

En este estudio se analizó la dinámica del uso del suelo de 1954 a 2001; esto permitió determinar cómo se empleó el área durante esos 47 años así como identificar las presiones urbanas o agrícolas que tuvo el bosque en este lapso de tiempo. Para ello se emplearon fotografías aéreas, las cuales aportan información detallada del área e información histórica sobre cómo se ha empleado la tierra, las presiones que han tenido los bosques y la permanencia de los mismos. De esta

forma se integran en este estudio, enfocado principalmente en el medio ambiente y el bosque, variables históricas, especialmente dinámicas migratorias y económicas.

Actualmente, el proceso de urbanización de esta área es inminente, por lo que es probable que las presiones urbanas aumenten sobre este bosque. Por este motivo es importante comprender la dinámica del uso del suelo e identificar las presiones sobre el mismo para elaborar planes de mitigación que sean integrados en los proyectos de urbanización futuros, para el desarrollo del área de una forma sostenida.

En Guatemala el interés por los bosques que rodean las ciudades ha sido muy escaso y los esfuerzos realizados han sido independientes por lo que la incidencia de los mismos ha sido difícil. Esta investigación es una base para identificar los bosques del área de estudio de una forma global para que en estudios posteriores se investigue sobre la calidad y biodiversidad de los mismos a una escala menor.

El Cerro El Naranjo es un área céntrica que se localiza a menos de una hora de los principales centros que realizan investigación sobre medio ambiente. Esto convierte a éste cerro y su área de influencia en un área potencial para estudios de ecología, contaminación de aire, agua y suelo, estudios sobre vulnerabilidad y riesgo por desastres naturales y estudios de patrones de migración humana así como de otras especies.

C. OBJETIVOS

1. General

Analizar la dinámica del uso del suelo que se ha llevado a cabo entre 1954 y 2001 en el área de influencia del Cerro El Naranjo.

2. Específicos

- Determinar los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en el Cerro El Naranjo y su área de influencia de 1954 a 2001 identificando sus causas.
- identificar y cuantificar las áreas en las que se han producido pérdidas o aumentos en la cobertura boscosa
- Determinar las edades aproximadas de los bosques del 2001, según la interpretación de las fotografías aéreas de 1954, 1981 y 2001.
- identificar los bosques que son susceptibles a urbanizarse debido a que se encuentran en pendientes menores a 10% o que en algún momento (1954) fueron cultivos.
- identificar áreas que actualmente no cuentan con cobertura boscosa que podrían ser reforestadas ya que tienen una pendiente en donde no es recomendable urbanizar (mayor a 10%).

I. METODOLOGÍA

A. ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio no hay límites administrativos oficiales; en general en Guatemala, los límites municipales no están definidos en una forma autoritativa: existen distintas fuentes como los límites del Instituto Geográfico Nacional y del Instituto Nacional de Estadística. Por otra parte el Cerro El Naranjo no es un área protegida por lo que no se encuentra dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. Por este motivo, la delimitación del área se llevó a cabo empleando límites naturales geográficos y límites antropogénicos. Los límites naturales empleados fueron ríos: el río Tzajlá delimitando el nor-oeste y el río La Barranca delimitando al este (ver Figura 3). Se intentó utilizar accidentes geográficos naturales ya que estos tienen más vigencia en el período de estudio; es muy probable que muchos caminos o calzadas actuales no existieran en 1954. Aún así, el límite sur-oeste está definido por la Calzada San Juan y el sur-este por el Anillo Periférico.

B. OBTENCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Las fotografías más antiguas con las que cuenta el Instituto Geográfico Nacional (IGN), para la Ciudad de Guatemala son de 1954, escala 1:20,000. Se estudió 1981 como año intermedio, escala 1:40,000 y 2001 como año más reciente, escala 1:10,000. Estas últimas fueron previamente ortorectificadas por el IGN (referirse al Apéndice 2) en un sistema de coordenadas proyectadas, Guatemala Transverse Mercator GTM, sistema recientemente creado por el IGN para reducir el error de los sistemas de coordenadas proyectados tradicionales (ver Apéndice 3). Este sistema fue empleado para todas las fotografías. Las fotografías de 1954 y 1981 fueron escaneadas y geo-referenciadas. El Apéndice 4 detalla el procedimiento de geo-referenciación de las fotografías de 1954 así como las principales observaciones que surgen de esta metodología.

C. USO DEL SUELO

Se realizó la interpretación visual de las fotografías geo-referenciadas empleando el programa ArcMAP 8.2, este es un programa digital que no requiere de pares estereográficos de fotografías. La unidad de mapeo fue de 100 m², es decir, toda área mayor o igual a 100 m² fue incluida dentro de la categoría de uso del suelo correspondiente. Las categorías de la clasificación están basadas en las propuestas por la FAO (Cuadro 5), pero se modificaron como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Categorías de uso del suelo empleadas para la interpretación de las fotografías aéreas

Tipo de cobertura	Nombre de referencia	Descripción
Áreas boscosas	Bosque	En esta categoría se incluyen los bosques naturales y artificiales de latifolladas y coníferas
Otras áreas boscosas	Arbustal	Incluye guamiles, matorrales, pastizales y arbustales
Áreas no boscosas	Área urbana	En esta categoría se incluye las áreas lotificadas habitacionales, comerciales e industriales, así como suelo expuesto
	Agrícola	Incluye área utilizada para cultivos y tierras en preparación
	Cuerpos de agua	Lagos, ríos

FUENTE: FAO 1973, modificado según metodología propuesta

Se realizaron dos visitas de campo, una durante la clasificación y otra de verificación para determinar el error de la interpretación de las fotografías del 2001. En ambos casos se empleó un GPS Garmin III PLUS y mapas del área de interés.

En el primer caso se utilizó una impresión de las fotografías aéreas del 2001, así como una clasificación preliminar y se localizaron 33 puntos en los que la clasificación era confusa por la claridad de la imagen o por la textura, esto permitió una familiarización de patrones y texturas en las fotografías.

En la segunda visita se empleó la clasificación final del 2001 y se localizaron 32 puntos al azar dentro del área de estudio, de acuerdo al número de puntos congruentes entre la clasificación y la realidad se determinó el error en la interpretación de las fotografías. El Apéndice 5 muestra la localización de los puntos en ambas visitas de campo, las áreas en las que se presentó error y los principales

comentarios sobre esta metodología. Cabe mencionar que la información de las fotografías es del 2001 y que la verificación en campo es de 2004; por lo que existieron algunos cambios entre el período 2001-2004 que deben tomarse en cuenta.

Luego de las visitas de campo se estimaron las áreas de bosque, arbustales-pastizales, área urbana, y agrícola para los años 1954, 1981 y 2001. Posteriormente se determinaron las tasas de cambio en los periodos 1954-1981, 1981-2001 y 1954-2001 así como las tasas de cambio anuales. A continuación se muestra cómo se calculó el cambio porcentual del periodo 1954-2001:

$$\begin{array}{c} \text{Tasa de cambio del periodo 1954-2001} \\ \frac{\text{Área 2001} - \text{Área 1954} \times 100}{\text{Área 1954}} \end{array}$$

Las tasas de cambio anuales se determinaron al hacer la relación entre variación de área de una cobertura en el número de años estudiados. Se calculó de la forma siguiente:

$$\begin{array}{c} \text{Tasa de cambio anual 1954-2001} \\ \frac{\text{Área 2001} - \text{Área 1954}}{\text{Número de años (47)}} \end{array}$$

No se realizó un análisis paramétrico a los datos para determinar la significancia de los resultados, ya que los datos geográficos no cumplen con todos los supuestos necesarios para este tipo de análisis. Específicamente, los datos geográficos o muestras no son independientes, éstas se encuentran relacionadas en el espacio. Por ejemplo si se tiene un píxel (o muestra) de categoría "bosque", la probabilidad de que el píxel contiguo sea bosque es muy alta, por lo que sí hay una relación geográfica entre los puntos. Por otra parte los datos geográficos no tienen variabilidad; un píxel de "urbano" no tiene una variabilidad asociada que no provenga del error mismo de la interpretación de las fotografías o imágenes.

Por este motivo, se definieron intervalos cualitativos de la intensidad del cambio, basados en una metodología empleada por The Nature Conservancy (TNC). Estos intervalos se definen de acuerdo al error de la interpretación de la fotografía. De esta forma se evaluó si los cambios de cobertura son significativos a través del tiempo. El Cuadro 8 presenta los intervalos empleados para definir los criterios de cambio.

si la cobertura disminuye 2 veces el error en la interpretación	Cambio negativo
si la cobertura no varía más 2 veces el error en la interpretación	Estable
si la cobertura aumenta de 2 veces el error en la interpretación	Cambio positivo

Fuente: Elaboración propia, basado en la metodología empleada por TNC modificada de acuerdo al error de la interpretación que es de 6.66%

Por otra parte se realizaron regresiones lineales entre cada tipo de cobertura y el tiempo. De esta forma se determinó si la variable de prueba (tiempo) estaba relacionada con la variable de respuesta (porcentaje de cada tipo de cobertura). Una correlación indica que el porcentaje de cobertura en un año responde a la variable tiempo, por lo que ésta ha cambiado a través del tiempo. Para comprobar la significancia de la relación se elaboró un Análisis de Varianza (ANOVA) de los coeficientes obtenidos.

D. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOSA

La dinámica del bosque del Cerro El Naranjo y su área de influencia se realizó empleando el programa ARCMAP con la extensión Spatial Analyst. En este punto, los polígonos que resultaron de la interpretación de las fotografías fueron convertidos a un formato raster para poder realizar el análisis espacial. Se codificaron de forma aleatoria las coberturas de bosques en los tres años estudiados, esta clasificación se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Codificación de los bosques de los años de estudio

Año	Código
Bosque 1954	4
Bosque 1981	40
Bosque 2001	400

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a metodología propuesta

Una vez codificada la información se sumaron las tres capas, obteniéndose valores de acuerdo al código de cada capa. En el Cuadro 10 presenta la explicación para cada código así como la permanencia de los bosques en el período 1954-2001.

Cuadro 10. Relación entre el código del bosque y la permanencia del mismo

Código	Permanencia del bosque
0	En esa área no ha habido bosque en el período 1954-2001
4	Bosque solamente en 1954
40	Bosque solamente en 1981
44	Bosque presente en 1954 y 1981
400	Bosque presente en 2001
404	Bosque presente en 1954 y 2001
440	Bosque presente en 1981 y 2001
444	Bosque presente desde 1954 hasta 2001

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a metodología propuesta

E. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE

Luego de estudiar la dinámica del bosque en el período 1954-2001, se elaboraron proyecciones sobre el bosque, con los mismos procedimientos de codificación y análisis espacial. Se determinó el bosque del 2001 que es susceptible a urbanizarse y las áreas de pastos y arbustos que son potenciales a reforestarse.

1. Áreas de bosque susceptibles a urbanizarse. Se determinó el grado de susceptibilidad de pérdida de los bosques de acuerdo a dos criterios: 1) las áreas que fueron cultivos en 1954 que actualmente son de bosque, y 2) la pendiente en la que se encuentra el bosque. En el primer caso se seleccionaron y recodificaron los cultivos de 1954 y los bosques del 2001, se realizó una suma de las superficies y se obtuvieron las áreas de bosque del 2001 que antes (1954) fueron cultivos. Este análisis se basa en el supuesto de que la tendencia sea que todos los cultivos de 1954 se urbanicen. En el segundo caso se elaboró un modelo de elevación digital con el programa ENVI 4.2, empleando curvas de nivel cada 10 m elaboradas previamente por el Instituto Geográfico Nacional. A partir de este modelo se realizó una superficie de pendientes del área de estudio. Se empleó el criterio de que a mayor pendiente, menor

probabilidad de urbanización. El valor tomado fue de 10%, por lo que las áreas que tienen pendientes menores de 10% son más susceptibles a urbanizarse.

2. **Áreas potenciales a reforestarse.** Se determinaron las áreas potenciales a reforestarse de acuerdo a tres criterios: el tipo de cobertura en 1954, la topografía del terreno y la presencia de arbustales o pastizales en 2001. Por un lado, las áreas que tenían bosque en 1954 que no han sido urbanizadas y por otro lado las áreas de cobertura no boscosa que se encuentran en pendientes mayores a 10%. Las áreas que reúnen estos tres criterios son las más adecuadas para proyectos de reforestación.

Se compararon las áreas susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse para establecer un balance en un escenario en que se urbanizan y reforestan la totalidad de dichas áreas. Además, se elaboró un mapa en el que se presentan las áreas críticas de reforestación y las áreas prioritarias de protección para mantener la conectividad de los parches de bosque.

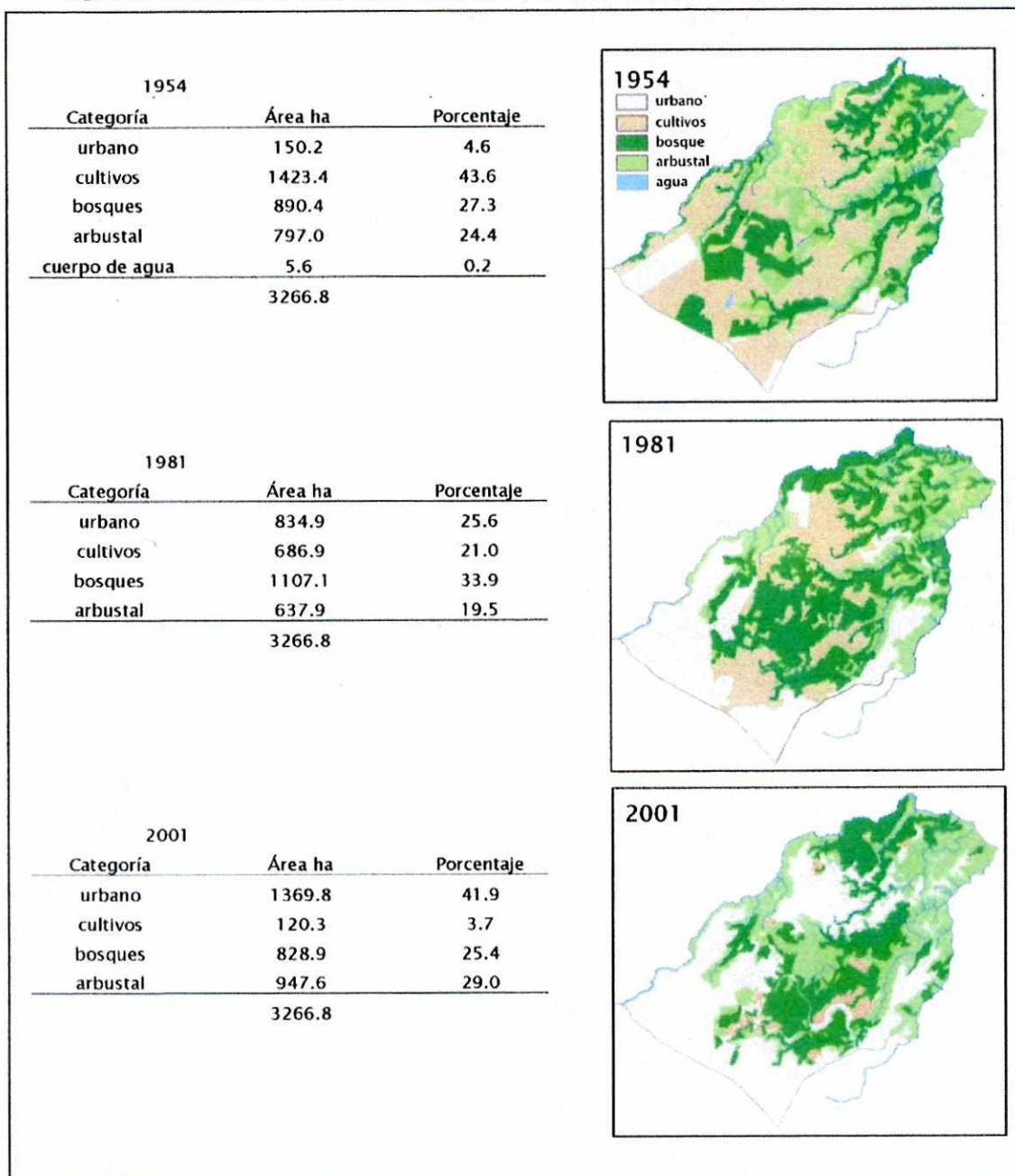
III. RESULTADOS

A. USO DEL SUELO

1. Comparación de las áreas por años. Las fotografías aéreas de los años 1954, 1981 y 2001 fueron interpretadas visualmente de acuerdo a las categorías de uso urbano, cultivos, bosque y arbustal en el Cerro El Naranjo y su área de influencia. La Figura 4 muestra el uso del suelo de los 3 años, se presentan las áreas de cada tipo de uso del suelo así como los valores porcentuales con relación al área total. En 1954 se incluye una categoría de cuerpo de agua, la cual abarca lo que en ese entonces era la Laguna El Naranjo. De acuerdo a la interpretación de las fotografías aéreas, en 1981 esta laguna estaba completamente seca.

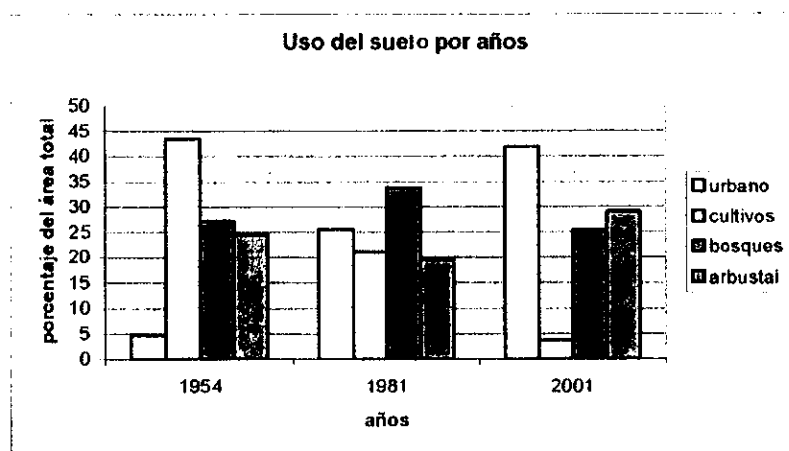
Para una mejor visualización de la información que se presenta en la Figura 4, se determinaron los porcentajes de cada tipo de cobertura con relación al área total para 1954, 1981 y 2001 (Figura 5). Se observa que en 1954 predominaban los cultivos, con más del 40% del área total mientras que en 2001 es la cobertura urbana la que predomina con 42%. En 1981 no se puede detectar una predominancia en los tipos de uso del suelo definidos.

Figura 4. Uso del suelo en tres períodos 1954, 1981 y 2001 en el cerro el Naranjo y su área de influencia



Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación de uso del suelo del Cerro El Naranjo empleando fotografías aéreas de los años 1954, 1981 y 2001

Figura 5. Porcentaje de los tipos de uso del suelo con relación al área total para cada año de estudio, 1954, 1981 y 2001 en el Cerro El Naranjo y su área de influencia



Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los porcentajes de cobertura obtenidos a partir de la clasificación de las fotografías aéreas de los años 1954, 1981 y 2001

2. **Tasas de cambio.** A partir de la interpretación de los usos del suelo para 1954, 1981 y 2001 se determinaron las tasas de cambio para cada tipo de cobertura en los períodos de estudio. Se tomó en cuenta el error de la interpretación para determinar si estos cambios son significativos. Este error es de 6.66%: de 32 puntos aleatorios que se definieron en el área de estudio, 2 puntos no concordaron con la clasificación propuesta y 2 no pudieron ser verificados (ver Apéndice 5).

En el caso de la tasa de cambio total de bosque (Cuadro 11) se observa que para el período 1954-1981 se presentó un aumento de 24.3% y en el período 1981-2001 una disminución de -25.1%. Estas tasas de cambio son similares y de signo opuesto lo que implica fuertes presiones sobre el bosque para el segundo período, presentando tasas de cambio anuales de -13.9. Si se analiza la tasa de cambio global de bosque para el período 1954-2001 la tasa de cambio es -6.9%; no se puede asegurar si este cambio es parte del error de la interpretación o si es un cambio real. De acuerdo a la metodología propuesta esta cobertura es estable en este período aunque presenta una tendencia negativa; presentando una tasa de cambio anual para 1954-2001 de -1.3.

Para la cobertura urbana se aprecia que las tasas de cambio siempre son positivas, siendo el período 1954-1981 el de mayor aumento. No obstante, al analizar

las tasas de crecimiento anual en el período 1954-2001 se percibe que el crecimiento de la cobertura urbana se ha mantenido constante en esta área, presentando valores promedio de 25.95.

En el período 1954-1981 se puede observar que las tasas de cambio de los cultivos y arbustales disminuyeron, mientras que la del bosque aumentó. Esto implica que el crecimiento urbano se dio a expensas de los cultivos y las áreas arbustivas. Sin embargo para el período 1981-2001, la tasa de crecimiento urbano total fue menor, pero en este caso a expensas del área de bosques y de cultivos. La tasa de cambio total de cultivos es mayor en el segundo período que en el primero (-51.7% vrs -82.5%), entre 1981-2001 se abandonaron muchos campos de cultivo que se convirtieron en zonas urbanas o de cobertura arbustiva. Si se analizan las tasas de cambio anuales, se percibe que estos valores se mantienen constantes, aunque ligeramente más negativos en el segundo período (-28.3).

El abandono de cultivos en el segundo período coincide con la tasa total de cambio de la cobertura arbustiva (485.5%), la cual aumentó, probablemente, por regeneración natural en las áreas de los campos de cultivos abandonadas. En las visitas de campo se constató que las áreas de cultivos que se identifican para el 2001 están, en su mayoría, abandonadas; solamente hay pequeños parches de cultivos dispersos entre áreas urbanas o arbustivas.

Globalmente, de acuerdo a los datos del Cuadro 11, en el período 1954-2001, los cambios para la cobertura urbana y arbustiva son positivos, la cobertura de cultivos es negativa y el bosque no presenta un cambio significativo.

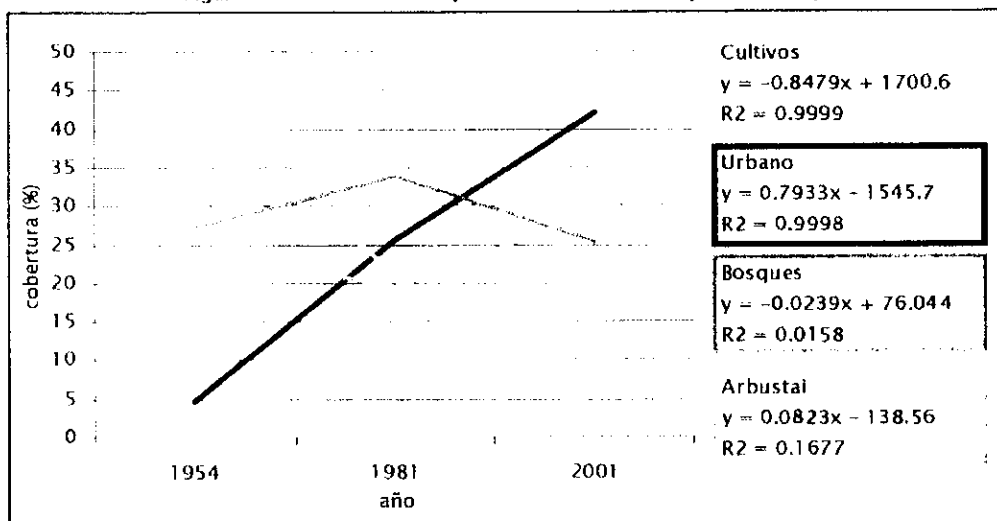
Cuadro 11. Tasas de cambio en tres períodos de estudio para los tipos de cobertura estudiada en el Cerro El Naranjo y su área de influencia

Cobertura	urbano		Cultivos		bosque		arbustal	
	total	anual	total	anual	total	anual	total	anual
1954-1981	455.7	25.4	-51.7	-27.3	24.3	8.0	-20.0	-5.9
1981-2001	64.1	26.7	-82.5	-28.3	-25.1	-13.9	485.5	15.5
1954-2001	811.7	25.9	-91.5	-27.7	-6.9	-1.3	18.9	3.2

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a los porcentajes de cobertura obtenidos a partir de la clasificación de las fotografías aéreas de los años 1954, 1981 y 2001

3. Variación de la cobertura con respecto al tiempo. Se determinó la relación entre el porcentaje de cada tipo de cobertura a través del tiempo. En la Figura 6 se observa que las coberturas de área urbana y de cultivos tienen una regresión significativa, validada mediante una ANOVA que mostró una alta significancia (0.01), mientras que la cobertura de bosque y arbustal no. La pendiente de urbano es +0.793 y la de cultivo es -0.848, estas son similares y opuestas en signo. Las pendientes indican que se han perdido más rápido los cultivos de lo que se ha ganado la urbanización; tal vez porque los cultivos han disminuido no sólo para ser urbanizados sino abandonados también, convirtiéndose en arbustales.

Figura 6. Variación de los tipos de cobertura con respecto al tiempo



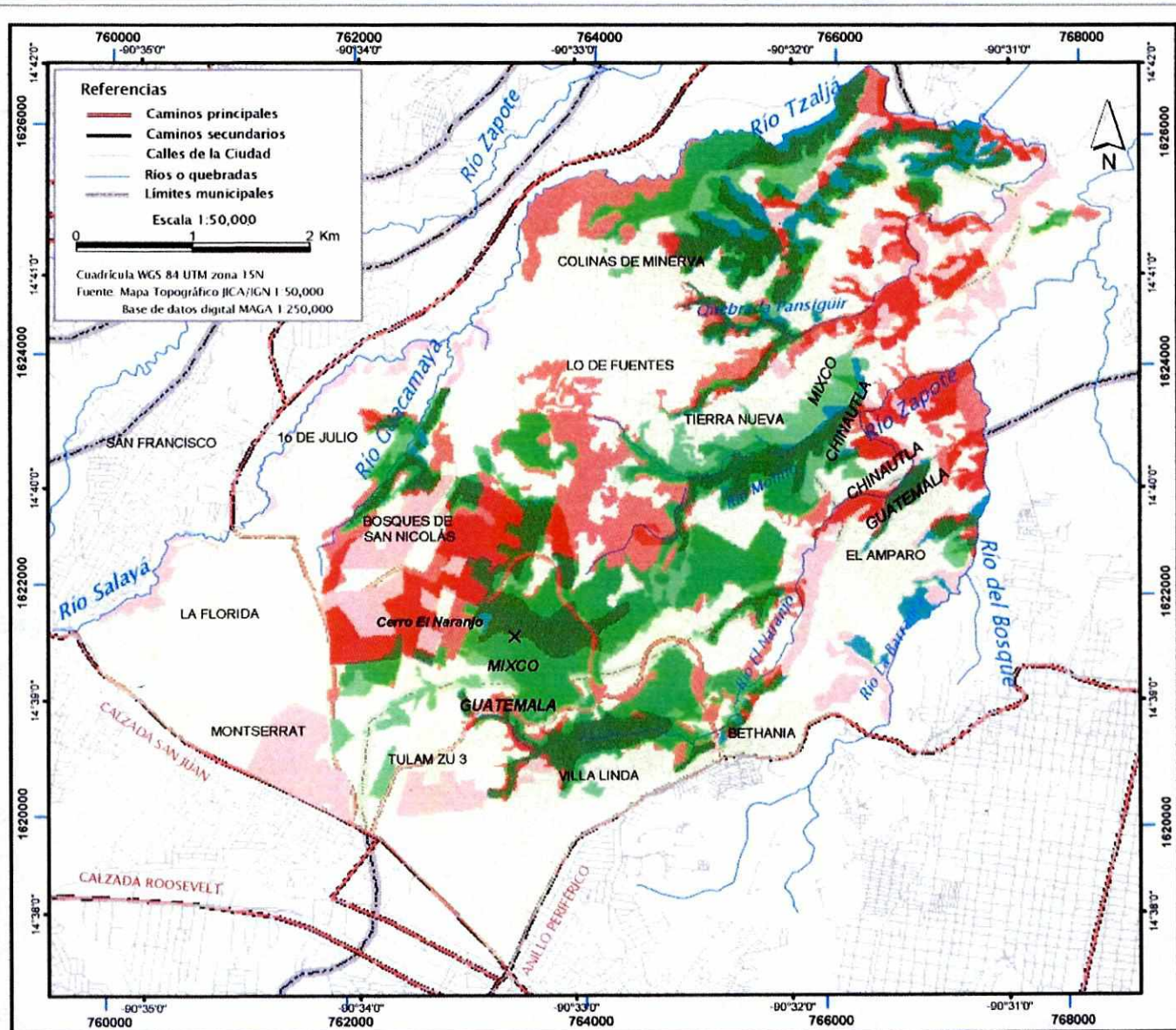
Fuente: Elaboración propia a partir de los porcentajes de cada cobertura en cada año de estudio.

B. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOSEA

La sobreposición de la clasificación de uso del suelo de cada año permite determinar los cambios de la cobertura boscosa de una forma visual. De esta forma se puede saber qué bosques han permanecido a lo largo del período de estudio, qué bosques se han perdido y cuáles han aparecido.

La Figura 7 presenta los bosques de acuerdo a su permanencia en el período 1954–2001. Los tonos de rojo muestran las áreas que eventualmente fueron bosque mientras que los tonos de verde muestran los bosques actuales. El tono de verde más oscuro representa los bosques que han estado desde 1954. Estos se encuentran, en su mayoría, en las áreas de barrancos, en los márgenes de ríos así como en la parte más alta del cerro. Se puede constatar que estos bosques representan una tercera parte del área total de bosque (36.4%), así como 9.2% del área total. El 73% de los bosques del Cerro El Naranjo y su área de influencia está presente por lo menos desde 1981.

Figura 7. Cambios en la cobertura boscosa entre 1954 y 2001 en el Cerro El Naranjo y su área de influencia. Permanencia de los bosques de distribución actual



	simbolo	Tipo	Permanencia	Área ha	% del área total del bosque 2001	% del área total
		sin bosque en el periodo 1954-2001		1623.3		49.69
Áreas que alguna vez fueron bosque		Bosque en 1954		312.6		9.57
		Bosque en 1981		285.4		8.74
		Bosque en 1954 y 1981		216.4		6.62
Áreas que actualmente tienen bosque		Bosque en 2001	menos de 20 años	163.9	19.78	5.07
		Bosque en 1954 y 2001	menos de 20 años	59.3	7.16	1.83
		Bosque en 1981 y 2001	más de 20 años	303.8	36.68	9.40
		Bosque en 1954, 1981 y 2001	más de 47 años	301.4	36.38	9.32

C. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE

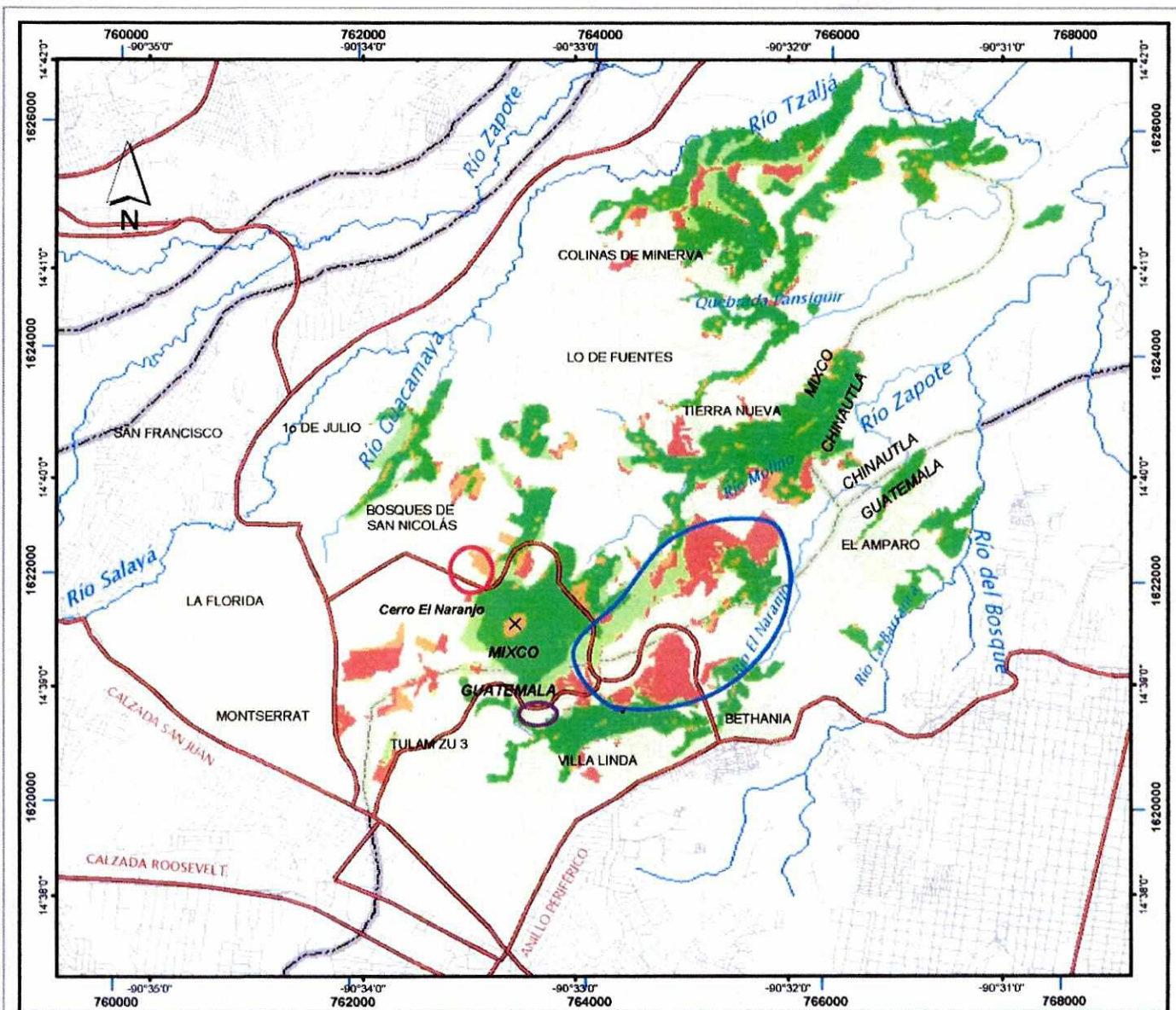
La susceptibilidad de pérdida de los bosques actuales se estimó de acuerdo a dos parámetros: si el bosque se encuentra en pendientes menores de 10% o si el bosque se encuentra en sectores que en 1954 fueron áreas de cultivos. Ambas clasificaciones corresponden a áreas que son potenciales a urbanizarse (ver Figura 8). Los bosques que se ubican en lugares con pendientes mayores a 10% se encuentran naturalmente protegidos por su pendiente, ya que debido al grado de inclinación en la topografía tienen menos probabilidad de ser empleados para cultivos o para fines urbanos.

De acuerdo a este análisis (ver Figura 8) el 39.1% del área de bosque actual puede ser empleada para otros fines como urbanizaciones, perdiéndose 324 ha de bosque eventualmente. De este porcentaje, 15.94% se encuentra en área de pendiente menores a 10% y fue cultivo en 1954 por lo que tiene mayores posibilidades de urbanizarse. El 60.9% del área total de bosque se encuentra en sitios con pendientes mayores al 10%, este tipo de bosque tiene menos presión de ser urbanizado ya que se debe invertir más para hacer el terreno seguro y estable.

En las visitas de campo se identificó un área que en 2001 era bosque pero que actualmente se encuentra urbanizada (círculo fucsia) . Esta es un área de bosque que en 2001 había sido catalogada como potencial a urbanizarse por tener una pendiente menor a 10%.

Actualmente se pueden observar bodegas y algunas colonias residenciales. Se identifica una segunda área (círculo azul) en la que ahora hay un proyecto de urbanización por lo que se estableció contacto con estos desarrolladores para conocer los cambios que pueden haber en el área debido a este desarrollo. Este tema es ampliado en la discusión.

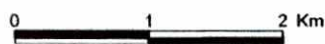
Figura 8. Áreas de cobertura boscosa susceptibles a urbanizarse de acuerdo a su pendiente y tipo de cobertura en 1954



Referencias

- Caminos principales
- Caminos secundarios
- Calles de la ciudad
- Ríos o quebradas
- Límites municipales
- Mega proyecto
- Colonia exclusiva
- Bodegas y residencias dispersas
- Área de estudio

Escala 1:50,000



Cuadrícula WGS 84 UTM zona 15N
Fuente: Mapa Topográfico JICA/IGN 1:50,000
Base de datos digital MAGA 1:250,000

Símbolo	Categoría	Área de bosque	
		Area (ha)	2001 (%)
■	Bosque en 2001 con pendiente menor a 10%	67.8	8.19
■	Bosque en 2001 con pendiente menor a 10% y que fue cultivado en 1954	131.9	15.94
■	Bosque en 2001 con pendiente mayor a 10%	503.9	60.9
■	Bosque en 2001 con pendiente mayor a 10% y que fue cultivado en 1954	123.9	14.97

Las áreas potenciales para proyectos de forestación o reforestación, se encuentran en la Figura 9. Se estimó que 485.2 ha de arbustales podrían reforestarse ya que se encuentran en áreas con pendientes mayores a 10% en donde es poco probable que se lleven a cabo proyectos de urbanización; dichas áreas se identifican en color marrón. Por otra parte, hay 312.3 ha de área que era bosque en 1954 y que actualmente tiene cobertura no boscosa, la cual es un área potencial para reforestar. De este total, 274.5 ha se encuentran en pendientes mayores a 10% y 37.8 ha en pendientes menores a 10%.

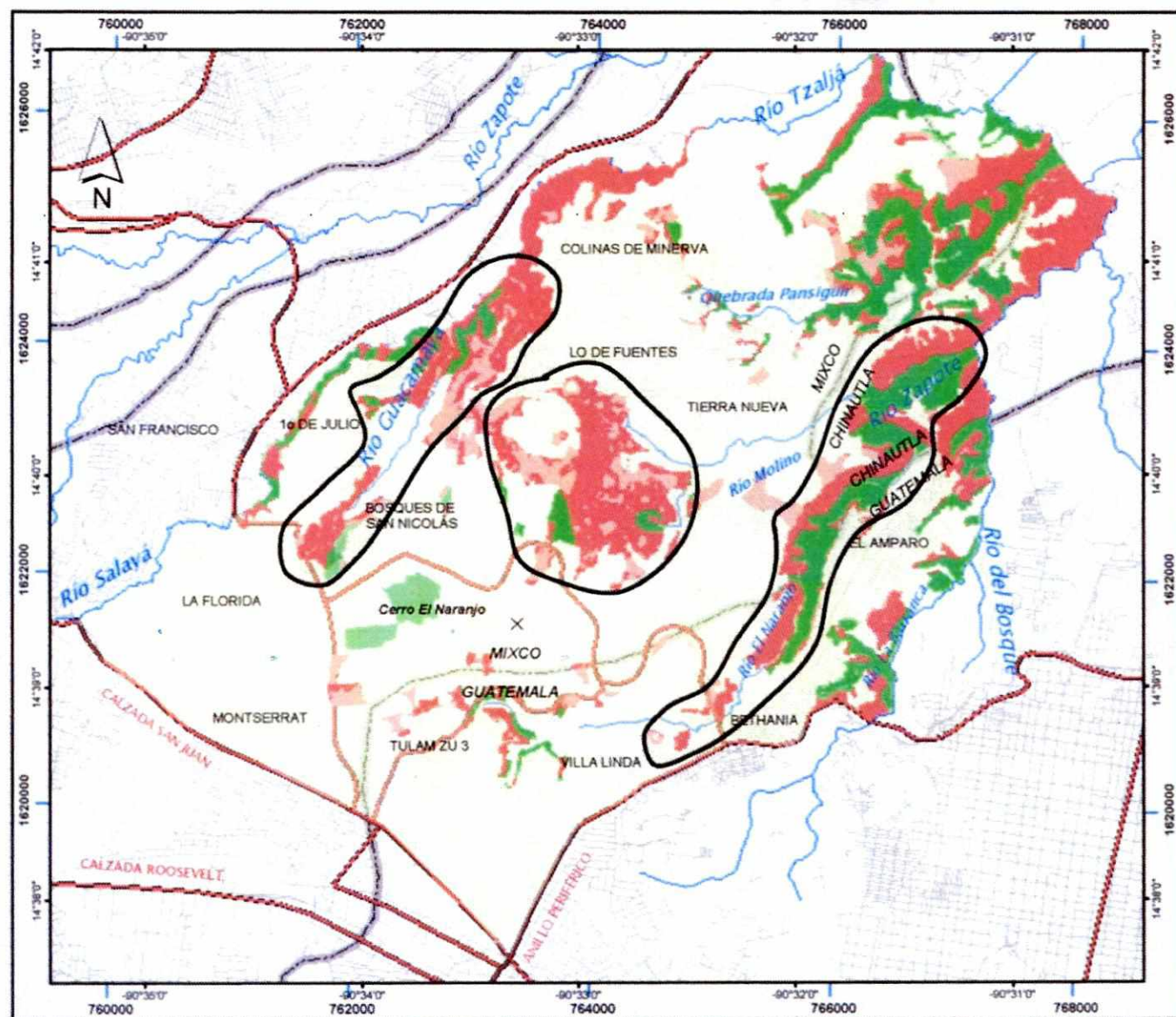
Se realizó una comparación entre los bosques susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse en el área de estudio. En el Cuadro 12 se percibe que la mayor parte de las áreas susceptibles se encuentran en pendientes menores a 10% (626.8 ha) mientras que la mayor parte del área potencial a reforestarse se encuentra en áreas con pendiente mayores a 10% (759.7 ha). De acuerdo a este análisis se determina que si se urbanizara toda el área susceptible y se reforestara toda el área potencial, el balance sería positivo para el área de bosque presentando un aumento de 121.3 ha, lo cual representa 14.6% del área de bosque actual

Cuadro 12. Comparación entre los bosques susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse en el Cerro El Naranjo y su área de influencia

	Áreas con pendientes menores a 10% (ha)	Áreas con pendientes mayores a 10% (ha)	Total (ha)
Área susceptible a urbanizarse	-626.8	-199.7	-826.5
Área potencial a reforestarse	188.1	759.7	947.8
Balance	-438.7	560.0	121.3

FUENTE: Elaboración propia de acuerdo a metodología propuesta.

Figura 9. Áreas de cobertura no boscosa potenciales a reforestarse de acuerdo a su pendiente y tipo de uso del suelo en 1954



Referencias





- Caminos principales
- Caminos secundarios
- Calles de la ciudad
- Ríos o quebradas
- Límites municipales
- Área de estudio
- Área prioritarias de reforestación

Escala 1:50,000



Cuadrícula WGS 84 UTM zona 15N
Fuente: Mapa Topográfico JCA/IGN 1:50,000
Base de datos digital MAGA 1:250,000

pendiente de arbustales

	pendiente de arbustales presentes en 2001	cobertura en 1954	área (ha)
	menor a 10%	no bosque en 1954	150.3
	mayor a 10%	no bosque en 1954	485.2
	menor a 10%	bosque en 1954	37.8
	mayor a 10%	bosque en 1954	274.5

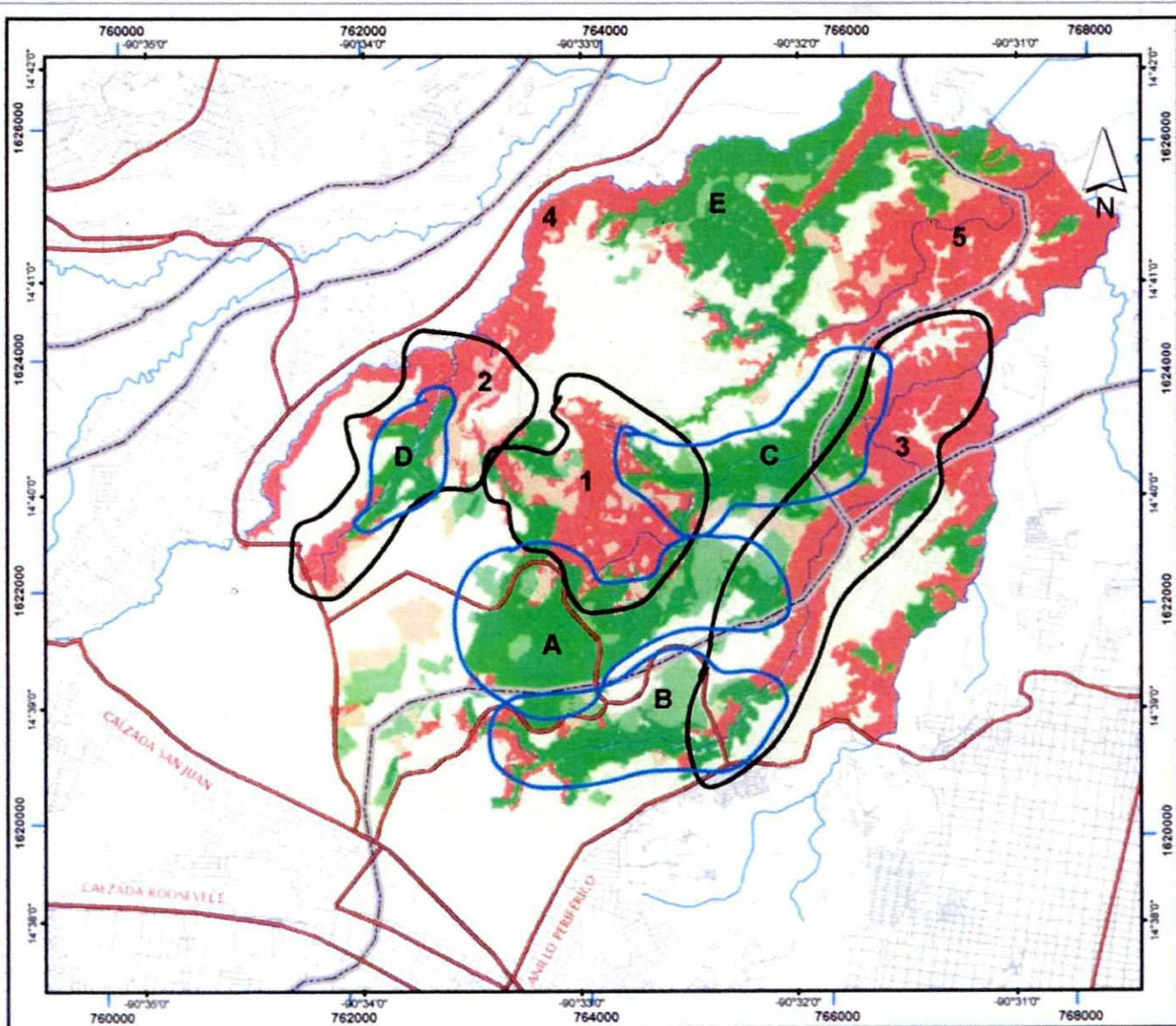
Se identificaron las áreas prioritarias de protección y de reforestación para mantener una interconexión de los bosques actuales. La figura 10 presenta 5 áreas prioritarias de protección y 5 de reforestación; el orden en que estos fueron numerados no tiene ninguna implicación sobre su importancia. Las áreas de bosque que se consideran necesarias de proteger son las áreas que se encuentran en pendientes mayores a 10%, es decir el Cerro El Naranjo, el río Naranjo, el río Molino, el río Guacamaya y el río Tzaljá.

Cabe mencionar que el área en el que mayores esfuerzos por mantener la cobertura de bosque se deberían de hacer es en la parte sur del Cerro El Naranjo y en la parte norte del río El Naranjo. Esta es un área sumamente amenazada ya que se encuentra dividida por la carretera el Naranjo, que tiene mayor susceptibilidad de urbanizarse ya que se encuentra en pendientes menores a 10%.








Para la interconexión de las áreas de bosque cercanas al Cerro El Naranjo, identificado como A (ver Figura 10), se debe mantener la cobertura boscosa del río Naranjo (B) y del río Molino (C) además se deberían de concentrar los esfuerzos de reforestación principalmente en la región (1) que comunica los bosques del Cerro El Naranjo (A) y del río Molino (C), la región (2) que comunica el bosque del río Guacamaya (D) con los bosques del Cerro el Naranjo y del río Molino y la región (3) que es un barranco sin cobertura boscosa que podría conectar los bosques del Cerro del Naranjo (A), del río el Naranjo (B) y del río Molino (C)

Actualmente el área de bosque que se localiza en la quebrada Pansigüir y en el río Tzaljá (E), se encuentran completamente aislada del bosque del Cerro El Naranjo. La comunicación de estos fragmentos de bosque depende de la reforestación en las regiones 4 y 5, que a su vez depende de la reforestación de las regiones 2, 1 y 3. Por lo tanto en lo que se refiere a la comunicación con el bosque del Cerro, el bosque E es más difícil de comunicar, por lo que no se considera como región prioritaria de protección o reforestación.

Figura 10. Comparación de áreas susceptibles a urbanizarse y las áreas potenciales a reforestarse en el Cerro El Naranjo y su área de influencia



Referencias

-  Áreas prioritarias de reforestación
-  Áreas prioritarias de protección
-  Caminos principales
-  Caminos secundarios
-  Calles de la ciudad
-  Ríos o quebradas
-  Límites municipales





Escala 1:50,000



Cuadrícula WGS 84 UTM zona 15N

Fuente: Mapa Topográfico JICA/IGN 1:50,000

Base de datos digital MAGA 1:250,000

	simbolo	Pendiente
Áreas no boscosas con potencial a reforestarse		menor a 10%
		mayor a 10%
Bosques susceptibles a urbanizarse		menor a 10%
		mayor a 10%

IV. DISCUSIÓN

A. USO DEL SUELO

1. Urbano. El crecimiento urbano en el Cerro El Naranjo y su área de influencia ha sido de 812% en el período 1954–2001 (ver el Cuadro 11), siendo entre 1954 y 1981 cuando hubo mayor crecimiento (456%). Es en este período en el que ocurren fuertes procesos migratorios hacia la ciudad debido a la carencia de empleos en el área rural y las consecuencias del terremoto de 1976. Es a raíz de este fenómeno que aparecen los asentamientos y colonias populares en la ciudad, como es el caso de la colonia 4 de Febrero a orillas del Anillo Periférico. El Cuadro 3 presenta el crecimiento demográfico del departamento de Guatemala; se observa que tanto para el municipio de Guatemala como para el de Mixco, las mayores tasas de crecimiento ocurren en 1954–1981 siendo de 165% y 4,237% respectivamente.

La construcción de la carretera del Naranjo realizada en el 2001, provocó un proceso de urbanización que se identificó en las visitas de campo. En solamente 3 años (2001–2004) se identificaron áreas que en 2001 no eran de uso urbano y que en 2004 tienen construcciones dispersas o colonias. Este es el caso de la colonia El Pedregal del Naranjo (círculo morado en la Figura 8) que se encuentra rodeada de bosque, el colegio Sagrado Corazón, industrias y residencias dispersas (círculo fucsia) y restaurantes de comida rápida, todos éstos, desarrollados después del 2001.

La construcción de la carretera El Naranjo es producto de un mega-proyecto que consiste en desarrollar áreas residenciales con centros educativos y un hospital, comercio con restaurantes de comida rápida (Pollo Campero y Burger King) e industria, principalmente centros de distribución y bodegas (en la Figura 8 se delimita el área aproximada del proyecto con un círculo azul). El objetivo es reducir las distancias recorridas por los habitantes encontrando todos los servicios necesarios en una misma área (Inversiones y Desarrollos de C. A., 2004).

Durante la entrevista sostenida con los desarrolladores de este mega-proyecto, ellos manifestaron que elaboraron estudios del suelo para determinar las áreas de bosque que se perderían con este proyecto. De acuerdo a lo comentado en dicha reunión, ellos pretenden mantener intacta la cobertura del Cerro El Naranjo así como el bosque de latifoliadas que se encuentra en el barranco del río El Naranjo (ver Figura 8). Existen áreas de bosque que sí serán eliminadas por lo que desde este año están trabajando con el Instituto Nacional de Bosques, INAB, en un proyecto de reforestación en la continuación del barranco mencionado anteriormente, en donde actualmente hay pastos naturales. Esta iniciativa se realiza con la meta de reforestar 55 hectáreas. Hasta el mes de julio se habían reforestado 13 hectáreas.

La urbanización de esta área es un proceso inminente, pero definitivamente los impactos se identifican mejor con los desarrollos mayores que con una serie de pequeñas construcciones. Por lo general, cuando se realizan evaluaciones de impacto ambiental a grupos aislados de desarrollo no se toma en cuenta el impacto en toda el área sino solamente en el área construida, mientras que en un proyecto más extenso, la municipalidad puede ser más rigurosa con dichas evaluaciones y los impactos se identifican y mitigan a una mayor escala.

El crecimiento urbano no planificado tiene consecuencias como la dificultad en el acceso de agua, provocada por el aumento de la demanda y la disminución de áreas de infiltración. Esto último provoca la disminución de las aguas subterráneas y de los niveles de los pozos de extracción. El Cuadro 4 muestra que en Molino de las Flores y en La Florida los niveles de aguas subterráneas han disminuido 1.47 y 1.57 metros por año respectivamente. Otro fenómeno parecido que se identifica es la desecación de la Laguna El Naranjo. De acuerdo al Diccionario Geográfico, desde 1973 la parte sur de esta laguna había empezado a secarse. Por otra parte la disminución de áreas de infiltración provoca deslaves o hundimientos, como es el caso del puente El Caminero, que se ha dañado en los últimos inviernos, y el

hundimiento de la carretera que conduce del Colegio Sagrado Corazón a la colonia Tulam Tzu (ver Figura 1).

2. Cultivos. Las altas tasas de migración que se registran en el período 1954-1981 provocaron un fuerte proceso de urbanización a expensas de las áreas de cultivos y de las áreas de cobertura vegetal no boscosa. En el siguiente período las presiones por seguir urbanizando continuaron, es este caso a expensas de los cultivos y del bosque.

El período en el que hubo una mayor disminución del área de cultivos fue entre 1981 y 2001 (-82%), esto puede ser explicado por un cambio en las dinámicas económicas de la ciudad. La economía de la ciudad pasó de ser agrícola a industrial y de servicios durante este período. Las grandes áreas de cultivo que se observan en 1954, (43% del área total), sufren una tasa de cambio de -91.5% en 1954-2001 (ver Cuadro 11).

En las fotografías de 1981, el área de cultivos disminuye (21%) y se observa que muchas de las áreas que en 1954 eran cultivo, en este año son campos lotificados y que para 2001, son áreas habitadas. En las visitas de campo realizadas se observaron solamente pequeñas áreas de cultivos dentro de las áreas urbanas así como en las orillas de barrancos. En estas áreas ya no se produce de forma intensiva sino para subsistencia.

Con el análisis del tipo de cobertura en función del tiempo se percibe una correlación inversa entre el crecimiento urbano y la disminución de áreas cultivadas. Esto se nota con los coeficientes de las ecuaciones obtenidos (Figura 6) 0.793 para el porcentaje de área urbana y -0.848 para el porcentaje de área de cultivos. Estos son valores similares y opuestos en signo. El coeficiente de cultivos es ligeramente mayor posiblemente debido a que éstos son abandonados para ser urbanizados o

bien para convertirse en cobertura vegetal no boscosa (arbustales y pastos) por regeneración natural.

3. Cobertura vegetal no boscosa. Es en el período de 1981-2001 cuando disminuyen más las áreas de cultivo (-82.5%) y aumentan más las áreas de cobertura vegetal no boscosa (485%) (ver Cuadro 11). En este período se siguen abandonando cultivos pero no para ser urbanizados inmediatamente, por lo que en los campos abandonados ocurre un fuerte proceso de regeneración natural. Se percibe nuevamente que los cultivos se abandonan a una tasa mayor de lo que se urbaniza por lo que las áreas se convierten en pastizales y luego arbustales.

En la interpretación de las fotografías, esto causó un poco de dificultad ya que era difícil distinguir entre las áreas de cultivo y las áreas cobertura vegetal no boscosa. Se observaban campos de cultivo recientemente abandonados con los caminos agrícolas mezclados con regeneración natural.

4. Bosque. En el período de 1954-2001 el área de bosque en El Cerro El Naranjo y su área de influencia no cambió significativamente (-6.9%). La tasa de cambio detectada es menor que el porcentaje de error estimado en la interpretación (7%), por lo que no se puede saber si este cambio es parte del error de la interpretación o si en realidad hubo un cambio significativo en el área de bosque.

Sin embargo se debe analizar la tendencia del cambio: en el período 1954-1981 se aprecia una tasa de cambio positiva (24.3%) (ver Cuadro 11), mientras que en 1981-2001 ésta es negativa (-25.1). Las tasas obtenidas para estos dos períodos son opuestas en signo, es decir que en el último período el bosque se perdió a la misma tasa a la que había aumentado en 1954-1981. Si las condiciones permanecen constantes, la tendencia es que el bosque siga disminuyendo.

En el estudio de caso que analiza la dinámica del uso del suelo entre 1980-2000 en Chimaltenango (Cuadro 6), se obtuvo de igual forma un cambio muy pequeño en la cobertura boscosa. La cobertura urbana aumentó 141.8% y la de cultivos disminuyó 45.7% mientras que el bosque aumentó 3.1%, por lo que este cambio no es significativo comparativamente. Es interesante observar que, tanto en el Cerro El Naranjo como en la cabecera departamental de Chimaltenango, el crecimiento urbano se ha dado a expensas de las áreas de cultivos sin provocar mayores efectos en el área de bosque.

B. DINÁMICA DE LA COBERTURA BOSCOSA

En la Figura 7 se presenta un mapa con los cambios de la cobertura boscosa del área de estudio entre 1954 y 2001. Se puede constatar que el 36% de los bosques del área han estado presentes desde 1954; esto implica un alto valor ecológico para el área ya que los bosques más antiguos tienen mayor biodiversidad. Es probable que el estado de madurez de estos bosques sea mayor que en bosques más jóvenes; no obstante esto tendría que ser comprobado en estudios posteriores.

Como se mencionó anteriormente, no ha habido una disminución significativa del área de bosque; sin embargo sí se percibe una fragmentación del mismo, lo que constituye otro criterio para evaluar el deterioro ambiental. Se han identificado áreas que han quedado como islas rodeadas de concreto, como por ejemplo el área de bosque que se encuentra en el río Guacamaya (Figura 7) que está completamente aislado por las colonias 1° de Julio y Bosques de San Nicolás. Este bosque estuvo interconectado al Cerro El Naranjo hasta algún momento entre 1981 y 2001. Es importante mantener no solamente los bosques que se encuentran en los barrancos sino, además, conservar bosques en áreas planas que sirvan como corredores entre quebradas para no aislar parches de bosque.

La carretera El Naranjo tiene altas probabilidades de seguir fragmentando el bosque. La mayor parte de ésta se encuentra en áreas con pendientes menores a 10%, que son altamente urbanizables (Figura 8). Si esto ocurriese, el bosque del río Naranjo quedaría completamente aislado del bosque del Cerro El Naranjo. Cabe mencionar que con este análisis se perciben conexiones de cobertura boscosa pero se tendrían que hacer estudios ecológicos para determinar el grado de interconexión al nivel de animales.

En la Figura 7 se encuentra una categoría en la que hubo bosque en 1954 y en 2001 pero no en 1981. Esto sugiere que en la misma área se deforestó el bosque entre 1954-1981 y se regeneró entre 1981-2001. No obstante la mayor parte de este tipo de bosque se encuentra en barrancos, por lo que su tala no tendría aparentemente fines de urbanización. Es probable que esto se deba a un error en la interpretación de las fotografías de 1981, confundiéndose el bosque con otro tipo de cobertura como arbustales. Esta categoría podría ser incluida con los bosques que están presentes desde 2001.

C. PROYECCIONES SOBRE EL BOSQUE

1. Bosques susceptibles a urbanizarse. Basado en los resultados obtenidos en la interpretación de las fotografías, es interesante determinar cuánto bosque presente en 2001 puede perderse, principalmente por la urbanización. De acuerdo a los coeficientes de regresión, la tendencia es que todo lo que en 1954 fue cultivo en 2001 sea urbano. De las áreas cultivadas en 1954, algunas no se han urbanizado y tienen bosques, arbustos o pastizales. Por lo tanto, al identificar las áreas de bosque de 2001 que fueron cultivos en 1954, se encuentran áreas de bosque con una alta probabilidad de urbanizarse.

Dichas áreas se identifican en la Figura 7, con color café y naranja claro. El bosque del área del mega-proyecto de desarrollo en El Naranjo (círculo azul) tiene

estas características, que lo hacen susceptible a perderse. Esto apoya la hipótesis de que todo lo que fue cultivo en 1954 tenderá a urbanizarse, por lo que se puede predecir que las áreas de bosque con esta característica serán eventualmente urbanizadas si continúa la misma tendencia.

Otro factor que se tomó en cuenta fue la pendiente del terreno, las áreas que tienen pendientes mayores son menos susceptibles a urbanizarse ya que en estas se debe hacer una inversión mayor para estabilizar el terreno. Dichas áreas se identifican en la Figura 8 en verde claro. En las visitas de campo, realizadas en 2004, se identificaron áreas de bosque que ya habían desaparecido, tal es el caso del área identificada con un círculo fucsia en el que hay viviendas y bodegas dispersas con pequeños parches remanentes de bosque.

Existen una serie de implicaciones en la pérdida de cobertura boscosa dependiendo de la topografía del área. En las áreas planas de bosque ocurre un fuerte proceso de infiltración de aguas de lluvias. Cuando se elimina el bosque y se cubre con concreto la infiltración es nula, por lo que se acumulan grandes volúmenes de agua que deben ser infiltrados en otras áreas que son rápidamente saturadas. Por este motivo, en las áreas urbanas debería haber pozos y galerías de infiltración. Estas son espacios profundos construidos sin concreto en donde se permite la infiltración del agua. Los pozos se localizan a distancias determinadas para que cuando se saturen el agua pueda llegar a otros pozos. Por otra parte es más recomendado adoquinar las calles en vez de asfaltarlas ya que esto permite un grado de infiltración entre cada adoquín.

En un área de pendientes pronunciadas, la función del bosque es disminuir la erosión, por lo que la tala de los mismos puede provocar deslaves. Los deslizamientos en las áreas de pendientes aportan una fuerte cantidad de sólidos que llegan a los ríos, disminuyendo su profundidad. Esto provoca cambios en el cauce o inundaciones en las márgenes de río que consecuentemente deslava nuevas

áreas del suelo. El problema de la mayoría de proyectos de desarrollo es que realizan movimientos de tierra y tiran este material de desperdicio en los barrancos. Esto destruye la vegetación de los valles y con las lluvias, este material es lavado hacia las márgenes del río. Idealmente, esta tierra debería ser llevada a los basureros cercanos, para que fuera empleada en los rellenos sanitarios; sin embargo esta práctica no es común ya que esto representa mayores costos para el proyecto de urbanización.

2. Áreas potenciales a reforestarse. La potencialidad de un área para reforestarse se definió de acuerdo a tres criterios: 1) la presencia de bosque en 1954, 2) la presencia de cobertura no boscosa en 2001, y 3) la pendiente del terreno. Las áreas no boscosas del 2001 que se encuentran en pendientes mayores a 10% tienen una probabilidad baja de ser urbanizables, por lo que se podrían reforestar. Sin embargo, no todas las áreas de arbustos y pastizales pueden ser bosque ya que no reúnen necesariamente las condiciones de suelo. No obstante, las áreas que fueron bosque en 1954, cuyas pendientes son mayores a 10% sugieren que estas áreas son aptas para ser bosque.

La Figura 9, presenta las áreas de cobertura no boscosa potencial a reforestarse de acuerdo a su pendiente y tipo de uso del suelo en 1954. El área que en 2001 no es de bosque pero que en 1954 sí lo era es de 312.3 ha, de éstos, 274.5 ha se encuentran en pendientes mayores a 10% (representa 10% de la cobertura boscosa en 2001) y 37.8 ha en pendientes menores a 10%. Estas zonas son potenciales a reforestarse, ya se tiene evidencia que alguna vez fue bosque. Cabe mencionar que si se reforesta se deben escoger especies del área ya que de no ser así se estaría introduciendo nuevos especímenes al ecosistema y con esto se modificaría el paisaje. Al plantar especies del área se favorece la regeneración natural ya que por medio de procesos naturales se crean superficies de cobertura local.

Se realizó un balance entre las áreas susceptibles a urbanizarse y potenciales a reforestarse; los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 12. Se percibe que en los terrenos con pendientes menores a 10% el balance entre bosque que se puede urbanizar o reforestar es negativo, es decir que existen 438.7 ha de bosque que podrían desaparecer. Por otra parte, en los terrenos con pendientes mayores a 10% el balance es positivo, existen 560.0 ha de áreas no boscosas que podrían ser reforestadas.

La presión humana sobre el bosque es más alta en las áreas planas que en las áreas escarpadas; las primeras tienen más probabilidad de que se realicen proyectos de urbanización. No obstante, es muy importante poder mantener alguna cobertura de bosque en las áreas planas para mantener la conectividad de los bosques de los barrancos.

Esta conectividad de los bosques se logra manteniendo ciertas áreas de bosque y reforestando otras. Tal es el caso del bosque del río Naranjo (ver Figura 10) que tiene cobertura solamente en la parte sur, quedando aislado del río Molino y del Cerro El Naranjo, si se reforesta el área propuesta se lograría reconectar estos bosques.

Otra área prioritaria es al norte del Cerro El Naranjo (ver Figura 10), ésta no presenta cobertura boscosa en el período estudiado, pero según la capacidad de uso del suelo generado por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) éste tiene vocación forestal. Si se reforestara esta área se podrían conectar los bosques del Cerro El Naranjo y el río Molino. La recuperación de la cobertura forestal en estas dos áreas permitiría la comunicación de los bosques del Cerro y de los ríos Naranjo y Molino que son, actualmente, los parches de bosque más grandes.

La última consideración es, que tanto las áreas susceptibles a urbanizarse así como las áreas potenciales a reforestarse se determinaron solamente de acuerdo al tipo de cobertura presente en 1954 y a la topografía del terreno. Sin embargo, se deben tomar en cuenta otros criterios como el acceso al área, el tipo de suelo y la tenencia de la tierra. Se debe considerar además las políticas de cada municipalidad; es decir, la dinámica del uso del suelo y la permanencia de los bosques dependerá de la forma como se cumplan las medidas de mitigación de las evaluaciones de impacto ambiental, así como el interés en reforestar las áreas no boscosas, estos son aspectos fundamentales para el futuro de la calidad ambiental del Cerro El Naranjo.

V. CONCLUSIONES

Entre 1954 y 2001 la tasa de crecimiento urbana fue de 812%, el aumento del área urbanizada se dio a expensas de las áreas de cultivos. Esta relación fue comprobada con un análisis de regresión lineal para el cual se obtuvieron coeficientes similares de signo opuesto; 0.7 para el área urbana y -0.8 para los cultivos. Esta pequeña diferencia sugiere que los cultivos son abandonados para urbanizarse o para convertirse por regeneración natural en pastos y arbustos. De esta forma se puede explicar el ligero aumento en el área de cobertura no boscosa que fue de 18.9%.

Se puede observar que el cambio en el área de bosque durante este período no es significativo (-6.9%) ya que este valor es menor que el error en la interpretación de las fotografías aéreas (7%). No obstante entre 1981-2001 se detecta una pérdida de 25% de bosque. Si la tendencia permanece igual, el área de bosque del Cerro El Naranjo puede seguir disminuyendo.

El análisis del bosque en los tres años de estudio permitió determinar la permanencia de los mismos en el período 1954-2001. El 72% de los bosques en el Cerro El Naranjo y su área de influencia están desde 1981, se estima que la mitad de éstos ya estaban presentes en 1954. El 27% restante de bosque solamente se identificó en las fotografías de 2001.

En el período 1954-2001 se produjo deterioro ambiental en el Cerro El Naranjo y su área de influencia ya que se ocasionó fragmentación del bosque. El barranco del río Guacamaya quedó completamente aislado por las colonias 1° de Julio y Bosques de San Nicolás, por lo que se eliminó la conexión entre este barranco y el cerro. Si la tendencia sigue igual, es altamente probable que el bosque del río Naranjo quede aislado del Cerro El Naranjo, como consecuencia de la construcción de la carretera.

Los bosques susceptibles a urbanizarse representan el 39.1% del área total de bosques, de éstos, 8.2% por encontrarse en sitios con pendientes menores a 10% y 14.97% por estar en sitios en donde en 1954 hubo cultivos. Las áreas que reúnen los tres criterios son las más susceptibles a perderse y representan 15.94% del bosque actual. El 60.9% del bosque no reúne estos criterios por lo que es menos susceptible a urbanizarse.

Existen 312.3 ha de terreno cubierto con arbustales y pastizales en el área de estudio que podrían reforestarse ya que fueron bosques en 1954, de éstos, 274.5 ha se encuentran en pendientes mayores a 10% por lo que tienen menor probabilidad de convertirse en áreas urbanas.

Si se urbanizan todas las áreas susceptibles y se reforestan todas las áreas potenciales se llegaría a un balance; 826.5 ha de ganancia urbana y 947.8 ha de aumento de bosque. Se debe considerar que estos modelos solamente toman en cuenta la cobertura de 1954 comparada con la actual y la topografía del terreno; sin embargo también se deben tomar en cuenta variables como la tenencia de la tierra, acceso al área e incidencia municipal en la misma.

VI. RECOMENDACIONES

El Cerro El Naranjo se encuentra en un área cercana a los centros de investigación de medio ambiente, por ello sería factible que en este se realizaran estudios de ecología. Dentro de los temas que se pueden investigar se encuentra por un lado, la identificación del grado de conectividad de los parches o islas de bosque actuales y por otro lado, la determinación de la diversidad de los bosques de acuerdo a su permanencia. Esto permitiría profundizar sobre la calidad de los bosques.

La mayoría de bosques maduros del Cerro el Naranjo se encuentran en barrancos; las áreas prioritarias de protección son los bosques del Cerro El Naranjo, del río Molino, río Naranjo y río Guacamayo (referirse a la Figura 10). No obstante se deben proteger también los bosques cercanos a éstos que permitan una comunicación de los mismos.

El área más crítica de proteger es el bosque que comunica el Cerro El Naranjo y el bosque del río El Naranjo. Éstos están divididos por la carretera el Naranjo y aunque actualmente presentan una cobertura de bosque continua, el bosque que los comunica es susceptible a urbanizarse ya que se encuentra en terrenos con pendientes menores a 10%.

Por otra, parte se recomienda reforestar las áreas que podrían comunicar las áreas de bosque. Tal es el caso de la región 1, al norte del Cerro El Naranjo, la región 2 en el río Guacamaya, y la región 3 en la parte norte del río Naranjo (referirse a la Figura 10). Sin embargo, las áreas propuestas para reforestación deben someterse al criterio de tenencia de la tierra, el procedimiento sería distinto si el área es municipal o si es de propiedad privada. En cualquier caso la reforestación debe llevarse a cabo con especies que se encuentren naturalmente en el área. No se deben introducir nuevas

especies como el eucalipto (que es procedente de Australia) ya que éstas alteran las condiciones ecológicas del hábitat. De igual forma no se debería reforestar solamente con una especie, como el pino, ya que esto provoca una homogenización del paisaje y pérdida de biodiversidad.

Un aspecto que se debe tomar en cuenta en el desarrollo de proyectos urbanísticos es la elaboración de evaluaciones de impacto ambiental. Este proceso parece estar regulado en el área, no obstante se realizan evaluaciones independientes a proyectos que en realidad son un "mega-proyecto". Por lo tanto, los impactos que se identifiquen individualmente y sus medidas de mitigación no serán globales y realistas de acuerdo al tamaño real del proyecto. Por este motivo se recomienda que se realice una sola evaluación de impacto ambiental cuando se traten de proyectos que involucran varias fases de desarrollo.

Siendo el Cerro El Naranjo y su área de influencia un área que se encuentra compartida por tres municipalidades (Guatemala, Mixto y Chinautla), es importante que los esfuerzos de protección y de reforestación se hagan de forma conjunta. En este sentido se encuentra nuevamente la necesidad de crear un ente que regule y organice las políticas y necesidades de todo el Distrito Central, disminuyendo de esta forma las desigualdades y diferencias de enfoque que existen entre las municipalidades actualmente.

VII. LITERATURA CITADA

- Asociación para el Avance de las Ciencias Sociales en Guatemala, AVANCSO. 2003. El proceso de crecimiento metropolitano de la Ciudad de Guatemala. Perfiles del fenómeno y ópticas de gestión. Cuaderno de Investigación No. 18. Guatemala, 308 pp.
- Bianco, P.M.; G. Fanelli; P. Tescarollo y S. Pignatti. 2003. Ruderalization in a Roman park as a result of changing management. *Urban Habitats* 1(1): 87-104.
- CONAP. 1999. Política nacional y estrategias para el desarrollo del SIGAP. Guatemala: Presidencia de la República. CONAP, Secretaría Ejecutiva. 47 pp.
- De La Cruz, J. 1983. Mapa de zonas de vida. Base de datos digital de la República de Guatemala a escala 1:250,000. MAGA, Guatemala. 109 pp
- Dirección Nacional de Estadística. 1953. VI Censo de Población, 18 de abril de 1950. Oficina Permanente del Censo. Guatemala.
- Leica Geosystems. Manual de soporte del programa ERDAS Imagine
http://support.erdas.com/documentation/files/spanish_field_guide/9_rectificacion.pdf
verificado en septiembre de 2004
- García, C.R. 2003. ¡No lotifiquen El Naranjo! En *Diario La Hora*, 4 de enero 2003.
<http://www.lahora.com.gt/03/01/04/paginas/opinion.htm>
verificado de mayo de 2004
- García, S. 2000. El crecimiento espacial de la Ciudad de Guatemala: ¿un desorden permitido? En AVANCSO. *La Ciudad de Guatemala y su área de influencia urbana: perfiles de problemas y líneas de solución*. Serie Temas urbanos, No.1. Guatemala. 308 pp.
- Garzona, E. 2002. Perfil socioambiental de la región metropolitana. Documento para discusión. *Diálogo Nacional sobre Políticas y Estrategias de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Seguridad Alimentaria-Nutricional REDFIA*. Guatemala. 48 pp.
- Hernández, V. 2000. Cinturones ecológicos en peligro por las necesidades producto de la pobreza. En *Diario La Hora*, 15 de abril 2000.
<http://www.lahora.com.gt/15/04/00/paginas/opinion.htm>
verificado en junio de 2003
- Instituto Geográfico Nacional. 1973. *Diccionario Geográfico Nacional*. Formato digital 2001, 2ª edición. El Naranjo, Cerro El Naranjo, Laguna El Naranjo.

- Instituto Geográfico Nacional. 2001. Parámetros de transformación de la Red Geodésica Nacional de Guatemala.
- Instituto Geográfico Nacional. Consulta en el archivo general de las fotografías aéreas de 1950 y 1976 del área del Cerro El Naranjo. Consultadas en abril-junio 2003.
- Instituto Geográfico Nacional, Insivumeh, JICA y Segeplan. 2004. Estudio del establecimiento de los mapas básicos y mapas de amenaza para el Sistema de Información Geográfica de la República de Guatemala. Fotografías aéreas de la Ciudad de Guatemala en formato digital, ortorectificadas por IGN.
- Instituto Nacional de Estadística. 1984. IX Censo de Población 1981. Tomo 1.
- Instituto Nacional de Estadística. 2003. XI Censo de Población y VI de Habitación 2002.
- FAO. 1973. Clasificación de la vegetación En United States, Department of Agriculture. 1971. Interpretación de fotografías aéreas para la clasificación y elaboración de cartas geográficas del suelo. Centro Regional de Ayuda Técnica, México. 97pp.
- MAGA, 2001 (i). Mapa de uso de la tierra del Departamento de Guatemala. Guatemala. MAGA/SIG.
- MAGA, 2001 (ii). Mapa de zonas de vida de Holdridge del Departamento de Guatemala. Guatemala. MAGA/SIG.
- Martínez, M. 2002. Valoración económica parcial del agua en la Ciudad de Guatemala: una alternativa para su sostenibilidad. FLACSO, Guatemala.
- Ministerio de Economía. 1975. VII Censo de Población de la República de Guatemala, 1973.
- Monzón, C. 2004. Dinámica de cobertura forestal y urbana 1990-2001 en la región metropolitana. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala 13:6-11.
- United States Department of Agriculture. 1971. Interpretación de fotografías aéreas para la clasificación y elaboración de cartas geográficas del suelo. Centro Regional de Ayuda Técnica, México. 97 pp.
- Universidad Rafael Landívar, Instituto de Incidencia Ambiental. 2004. Perfil Ambiental de Guatemala. Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala. 461 pp.

The Nature Conservancy. 2002. Proyecto Parques en Peligro. Guatemala, Guatemala.
50 pp

Comunicaciones personales

Ing. Miguel Fernández, Inversiones y Desarrollos de Centroamérica
15 de julio de 2004

Ing. Willy Cruz, Departamento de Construcción de la Municipalidad de Mixco
17 de septiembre de 2004

Ing. Edgar Sandoval, Departamento de Áreas Verdes de la Municipalidad de
Mixco,
21 de septiembre de 2004

VIII. Apéndices

APÉNDICE 1. PROYECTOS DE LEY Y PROPUESTAS DE DELIMITACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA Y DEL DISTRITO METROPOLITANO.

Tomado de AVANCSO 2003

No.	Fecha	Institución y marco legal	Conceptos centrales	Definición	Elementos
1.	1956	Organismo Ejecutivo. Ley Preliminar de Urbanismo	Área de Influencia Urbana (AIU)	El área que circunda una ciudad en la cual se hacen sentir los efectos de su crecimiento y el desarrollo de sus funciones dentro de un término previsible.	El AIU desborda los límites del municipio capitalino, abarcando un sector de los municipios de Chimalutz, Mixco, Villa Nueva y Petapa. El municipio de Guatemala ejerce "control urbanístico" sobre toda el AIU, incluso en sectores de otros municipios. Límites rígidos mezclando referencias físicas (ríos, y administrativas (límites municipales).
2.	1970	Instituto Nacional de la Vivienda (INVI) PLANDEMEG	Área Metropolitana de Guatemala (AMG)	No hay	Incluye seis municipios completos (Guatemala, Santa Catarina Pinula, Mixco, Amatitlán, Villa Nueva y Petapa) más ciertos sectores de otros dos (Chimalutz y Villa Canales) Combina para su delimitación criterios físicos y administrativos junto con funcionales. Toma en cuenta la accesibilidad, equipamiento urbano, comunicaciones, servicios, comercio, agricultura, industria y migración pendular.
3.	1971	Municipalidad de Guatemala	Área Metropolitana de Guatemala (AMG)	Área comprendida por la integración de las sub - regiones central y sur del departamento.	Incluye los municipios de Guatemala, Santa Catarina y San José Pinula, Chimalutz, Mixco, San Pedro Sacatepéquez, Fraijanes, Amatitlán, Villa Nueva, Villa Canales y Petapa. Incluye municipios enteros para una mayor simplicidad, jurídica y facilidad de manejo operativo, de la administración y de la información estadística. Se valora la cercanía a la capital y el hecho de ser áreas geográficas en las que se marca el proceso de urbanización. Existencia de relaciones de dependencia de los centros urbanos y las cabeceras municipales próximas con la capital.

No.	Fecha	Institución y marco legal	Conceptos centrales	Definición	Elementos
4.	1972	Municipalidad de Guatemala EDOM	Región Metropolitana (RM)	RM: El espacio geográfico que se organiza y estructura en función de la Ciudad a través de una serie de relaciones funcionales que responden a un proceso histórico definido, a sus recursos y condiciones geográficas.	Incluye a los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. Consideración de la RM como instrumento de trabajo que permite contar con un marco geográfico claramente definido. Importancia de las relaciones funcionales entre los centros de la región y entre éstos y la ciudad capital.
		Municipalidad de Guatemala EDOM	Región Central (RC)	RC: Departamento de Guatemala (17 municipios).	Definición de la Región Central de acuerdo con la regionalización de SEGEPLAN
		Municipalidad de Guatemala EDOM	Área Metropolitana (AM)	AM: Los 11 municipios más cercanos a la ciudad - capital, ubicados al centro y sur del departamento de Guatemala.	Incluye los mismos 11 municipios que la propuesta de 1971. Justificada a partir de características generales relacionadas con población, infraestructura social básica, economía y condiciones geográficas (topografía muy quebrada al norte del depto. que dificulta la expansión urbana).
5.	1978	Municipalidad de Guatemala CIVDU	Área Metropolitana de Guatemala (AMG)	Área de expansión inmediata de la Ciudad, sujeta a relaciones de orden económico, cultural, comercial, etc en forma permanente.	Delimitación restrictiva, con sólo ocho municipios Guatemala, Santa Catarina Pinula, Chimalutz, Mixco, Amatitlán, Villa Nueva, Villa Canales y Petapa.
6.	1981	Municipalidad de Guatemala	Distrito Central	"Ente regional metropolitano, autónomo, autárquico, de derecho público, con patrimonio propio y personalidad jurídica".	Base legal en la Constitución de 1965 Conformado por el departamento de Guatemala con sus 17 municipios, pudiéndose incorporar otros municipios vecinos en el futuro. Pensado como entidad político-administrativa para planificación y ejecución de servicios.
7.	1982	Municipalidad de Guatemala	Distrito Central	"Ente estatal, de carácter regional distrital, autónomo, de derecho público, con patrimonio propio y personalidad jurídica".	Base legal en el Estatuto Fundamental de Gobierno (situación de facto tras el golpe de Estado del 23 / III / 1982) Incluye 12 municipios del Departamento de Guatemala, sin argumentar la exclusión de tres del norte (San Juan Sacatepéquez, San Raymundo, Chuarrancho) y dos del sur (Amatitlán y Fraijanes).

No.	Fecha	Institución y marco legal	Conceptos centrales	Definición	Elementos
8.	1990	Municipalidad de Guatemala	Distrito Metropolitano	"Ente estatal ... etc." (igual que el Distrito de 1982)	Base legal en la Constitución de 1985 y en la Ley Preliminar de Regionalización de 1986, que señala que la Región Metropolitana estará integrada por el Departamento de Guatemala. Propósito manifiesto de institucionalizar la Región y crear un fuerte sentido de propósitos colectivos. Insistencia en la necesidad de reformar el sistema tributario con el fin de que el ente (distrito) cuente con los recursos necesarios.
9.	1995	Plan de Desarrollo Metropolitano "Metrópolis 2010" / Municipalidad de Guatemala	Area Metropolitana de Guatemala (AMG)	"Área conurbada de la Ciudad de Guatemala más su área de influencia inmediata"	Sin especificar qu municipios forman parte del "area conurbada" ni hasta dónde llega el área de influencia inmediata, pero sí se indica que el área queda dentro de la Región I (departamento de Guatemala). No contempla la creación de un ente político - administrativo (distrito) para el AMG.
10.	1996	Congreso de la República	Distrito Metropolitano	"El DM es el ente administrativo encargado de planificar, promover y coordinar la ejecución de los proyectos de infraestructura y servicios públicos de carácter metropolitano que cubran dos o mas municipios del departamento de Guatemala"	Incluye los 17 municipios del departamento de Guatemala. Siguiendo la Ley Preliminar de Regionalización, integra el Consejo Departamental de Desarrollo Urbano y Rural. En las bases de su creación considera la existencia de estudios correspondientes al Plan de Desarrollo Metropolitano "Metrópolis 2010".

APÉNDICE 2. GLOSARIO

Tomado del manual de soporte del programa ERDAS Imagine

Ortorectificación

Ortorectificación es una forma de rectificación que corrige el desplazamiento debido al terreno y que se puede usar si existe un DEM del área de estudio. Está basada en las ecuaciones de colinealidad, que se pueden derivar usando GCPs (puntos de control terrestre) en 3D. En áreas relativamente planas, la ortorectificación no es necesaria, pero en áreas montañosas (o en fotografías aéreas de edificios), en las cuales se requiere un alto grado de exactitud, se recomienda la ortorectificación.

Cuándo rectificar

La rectificación es necesaria en los casos en los cuales la cuadrícula de píxeles de la imagen se debe cambiar para ajustarse a un sistema de proyección cartográfica o a una imagen de referencia. Existen varias razones para rectificar datos de imágenes:

- comparación de píxeles de escena a escena en algunas aplicaciones, tales como detección del cambio o cartografía de inercia termal (comparación día y noche)
- desarrollo de bases de datos SIG para modelamiento
- identificación de muestras de entrenamiento de acuerdo con las coordenadas cartográficas antes de realizar la clasificación
- creación de fotomapas exactos, a escala
- superposición de imágenes con datos vectoriales, tales como ArcInfo
- comparación de imágenes que están originalmente en escalas diferentes
- extracción de medidas exactas de áreas y distancias
- mosaicos de imágenes
- realización de otros análisis que requieren posiciones geográficas precisas

Antes de rectificar los datos, usted debe determinar el sistema de coordenadas apropiado para la base de datos. Para seleccionar el sistema de coordenadas y la proyección cartográfica adecuadas, se debe considerar el uso primario de los datos.

Geo-referenciación

La georeferenciación se refiere al proceso de asignar coordenadas cartográficas a los datos de una imagen. Los datos pueden estar ya proyectados en el plano deseado, pero no estar referenciados en el sistema de coordenadas apropiado. La rectificación, por definición, involucra la georeferenciación ya que todos los sistemas de proyección cartográfica están asociados con coordenadas cartográficas. El registro imagen-a-imagen involucra georeferenciación únicamente si la imagen de referencia ya está georeferenciada. La georeferenciación, por sí misma, involucra únicamente el cambio de la información de coordenadas cartográficas en el archivo de la imagen. La cuadrícula (grilla) de la imagen no cambia.

Los datos geocodificados son imágenes que se han rectificado en una proyección cartográfica y en un tamaño de pixel particular y que usualmente tienen correcciones radiométricas aplicadas. Es posible comprar datos de imágenes que ya están geocodificados. Los datos geocodificados deberían ser rectificados únicamente si ellos deben estar conforme a un sistema de proyección diferente o deben ser registrados a otros datos rectificados.

Cuándo geo-referenciar únicamente

La rectificación no es necesaria si no existe distorsión en la imagen. Por ejemplo, si un archivo de imagen se obtiene mediante escaneo o digitalización de un mapa en papel que está en el sistema de proyección deseado, entonces la imagen ya es plana y no requiere rectificación a menos que exista inclinación o rotación de la imagen. El escaneo y la digitalización producen imágenes que son planas pero que no contienen ninguna información de coordenadas cartográficas. Estas imágenes requieren únicamente ser georeferenciadas, lo cual es un proceso mucho más simple que la rectificación. En muchos casos, el encabezado de la imagen puede simplemente ser actualizado con una información de coordenadas cartográficas. Esto involucra redefinir:

- la coordenada cartográfica de la esquina superior izquierda de la imagen
- el tamaño de la celda (el área representada por cada pixel)

Esta información es usualmente la misma para cada capa (banda) de un archivo de imagen, aunque podría ser diferente. Por ejemplo, el tamaño de celda de la banda 6 de datos Landsat TM es diferente que el tamaño de la celda de las otras bandas.

Puntos de control terrestre

Los GCPs son píxeles específicos de una imagen para los cuales se conocen las coordenadas cartográficas de salida (u otras coordenadas de salida). Los GCPs consisten de dos pares X,Y de coordenadas:

- coordenadas fuente—usualmente coordenadas de archivo de los datos de la imagen que se va a rectificar
- coordenadas de referencia—las coordenadas del mapa o de la imagen de referencia a la cual la imagen fuente se va a registrar

El término coordenadas cartográficas se usa algunas veces para referirse a coordenadas de referencia y a coordenadas rectificadas. Estas coordenadas no están limitadas a coordenadas cartográficas. Por ejemplo, en registro imagen a imagen, las coordenadas cartográficas no son necesarias.

Tener GCPs exactos es esencial para una rectificación exacta. A partir de los GCPs, se extrapolan las coordenadas rectificadas de todos los demás puntos de la imagen. Seleccione muchos GCPs en toda la escena. Entre más separados estén los GCPs, más confiable es la rectificación. Los GCPs para imágenes en escala grande pueden incluir la intersección de dos vías, las pistas de aterrizaje, los corredores de servicios públicos, torres o edificios. Para imágenes en escala pequeña, se pueden usar elementos grandes tales como áreas urbanas o rasgos geológicos. Elementos variables (por ejemplo, los límites de lagos u otros cuerpos de agua, vegetación, etc) no deberían usarse.

Error RMS

El error RMS es la distancia entre la posición de entrada (fuente) de un GCP y la posición retransformada del mismo GCP. En otras palabras, es la diferencia entre la coordenada de salida deseada y la coordenada de salida real para el mismo punto, cuando el punto es transformado con la transformación geométrica.

El error RMS es calculado con una ecuación de distancia.

$$\text{RMS error} = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$$

Donde:

- x_i e y_i = las coordenadas fuente de entrada
 x_r e y_r = las coordenadas retransformadas

El error RMS se expresa como distancia en el sistema de coordenadas fuente. Si las coordenadas del archivo de los datos son las coordenadas fuente, entonces el error RMS es una distancia en unidades de pixel. Por ejemplo, un error RMS de 2 significa que el pixel de referencia está 2 pixeles lejos del pixel retransformado.

**APÉNDICE 3. Especificaciones del sistema de coordenadas Guatemala
Transverse Mercator (GTM)
Tomado de IGN, 1999**

Las especificaciones generales de la nueva proyección para la cuadrícula plana nacional es la siguiente:

Proyección	Transversa de Mercator (tipo Gauss Kruger) en una zona única local
Esferoide	WGS84
Longitud de origen	90°30' (meridiano central de la proyección)
Latitud de origen	0° (el Ecuador)
Unidades	Metros
Falso norte	0 metros
Falso este	500,000 metros en el meridiano central
Factor de escala en el meridiano central	0.9998
Numeración de las zonas	No está dentro de la numeración normal de zonas UTM. Se le puede llamar zona 15.5
Límites de latitud del sistema	No es aplicable en el territorio Nacional
Límites de las zonas	No es aplicable en el territorio Nacional

Nuevo Sistema de Referencia Geodésico: WGS84 aumentado, basado en ITRF94 época 1997.5 parámetros del elipsoide:
Semieje mayor 6378137.0 metros
Semieje menor 6356752.3142 metros
Achatamiento: $1/f = 238.257223563$

NOTA: el día 22 de octubre de 1999 se modificó el elipsoide de referencia y su datum asociado de GCS 80 a WGS 84

APÉNDICE 4. Geo-referenciación de las fotografías aéreas de 1954 y 1981

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a metodología

La geo-referenciación de las fotografías aéreas es necesaria para asignar un espacio geográfico a las fotografías escaneadas. Las fotografías del 2001 fueron escaneadas y ortorectificadas por el IGN. En este estudio se geo-referenciaron las fotos de 1954 y 1981. Al llevar a cabo este procedimiento surgen observaciones que son importantes de mencionar:

La selección de puntos de control terrestre (GCP) fue un poco complicada debido a que no siempre hay puntos claros; en el mejor de los casos se emplearon intersecciones de caminos, aunque esto conlleva un cierto error en el caso de las fotos de 1954. Por ejemplo, si se toma una intersección de una calle que no estaba asfaltada, la ampliación posterior no necesariamente fue tomando el eje de la calle como centro; esta ampliación pudo darse de un lado o del otro del camino. La localización de un GCP en las fotos de 1954 no necesariamente corresponde a la localización en las fotos de 2001. Esto conlleva un error Root Mean Square (RMS) mencionado en el Apéndice 2.

En el caso de que no hubiera intersecciones de caminos para tomar como referencia, se utilizaron los parte aguas de montañas. Estos presentan un grado todavía mayor de error, debido al empleo de fotos geo-referenciadas de 1954 y 1981 contra las fotos ortorectificadas de 2001. Las ortofotos no contienen la escala, y distorsiones del relieve que caracterizan las fotografías aéreas normales (Apéndice 2). Si se localiza un parte aguas en las fotos del 2001, este punto no tiene una alteración topográfica mientras que sí presenta variaciones en las fotografías de 1954 o 1981 que no tienen correcciones de la topografía.

Lamentablemente no se pudo realizar el proceso de ortorectificación de las fotografías de 1954 y 1981 debido a que este proceso requiere información detallada sobre la cámara empleada para realizar una orientación interna (Apéndice 2). No se cuenta con esta información para las fotografías de estos años.

Como último recurso, se emplearon los caminos que en 1954 fueron agrícolas y que ahora son residenciales. Tal es el caso de los caminos en la parte norte del área de estudio, en las colonias de Minerva (ver Figura 1). Hace 50 años esta área era agrícola, en las fotos de 1981 se constata una evolución hacia el sector residencial y en 2001 el área está completamente urbanizada. La principal desventaja de emplear estos caminos es que no permanecen iguales a través del tiempo, debido a que son de propiedad privada; la forma y ubicación de los mismos varía de acuerdo a las actividades y productividad de la finca.

Para la geo-referenciación de las fotografías se seleccionaron 25 GCP, tratando de que estos quedaran distribuidos en toda la foto (en especial en las esquinas, en donde se espera un mayor grado de distorsión). Una vez localizados los puntos, el programa (ENVI 4.0) muestra un error RMS (Root mean square error). Existe una regla que menciona que el error en la geo-referenciación tendría que ser la mitad del valor de un píxel. Entonces en el caso de las fotografías de 1954, el cálculo se realizaría de la manera siguiente:

$$\frac{\text{Escala de la fotografía} \times 254}{\text{Resolución de escaneo}} = \frac{\text{metros}}{\text{píxel}}$$

Las fotografías de 1954 están a una escala 1:20,000 y se escanearon a una resolución de 800DPI, por lo tanto el tamaño del píxel es de

$$\frac{20000 \times 254}{800 \times 1000} = 6.35\text{m/píxel}$$

entonces el valor máximo de RMS tolerado tendría que ser de 3.175 (6.35/2)

De acuerdo a la regla de tolerancia del RMS, se acepta un valor máximo menor a la mitad del valor del píxel, por lo tanto, el RMS de tolerancia tendría que ser de 3.175m.

Sin embargo, en la mayoría de casos, este valor se encontraba cerca de 10 unidades de RMS (10 metros), este es un valor muy alto con relación al RMS de tolerancia esperado, pero que puede ser explicado con los siguientes factores:

- La selección equivocada de los puntos de enlace, es decir que los puntos de 1954 o 1981 no corresponden con los puntos de referencia en la foto de 2001.
- La calidad del revelado de la fotografía, que incluye la claridad con la que se observa la imagen así como la presencia de dobleces del papel que afectan la calidad del escaneo
- La calidad del escáner, que incluye la resolución a la que se toma la imagen, y las distorsiones que se adquieren cuando el papel de la fotografía está doblado.
- El empleo de fotografías antiguas, las cuales no se encuentran necesariamente en buen estado y han sido manipuladas excesivamente; prueba de ello es el olor fuerte a químicos que despiden el rollo de 1954 así como los rayones que presenta la película de las fotografías.

Cabe mencionar que el RMS de tolerancia está estrechamente relacionado con la resolución a la que se escanea, por ejemplo si se escanearan las fotografías de 1954 a 200 DPI, el RMS de tolerancia sería de 12.5, por lo que el error de RMS obtenido en este estudio sí sería adecuado.

APÉNDICE 5. INTERPRETACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

PRIMERA VISITA DE CAMPO: FAMILIARIZACIÓN CON LAS TEXTURAS

En esta visita se trabajó en 33 puntos seleccionados de acuerdo al grado de confusión que presentaba el patrón y textura de las fotografías aéreas. En el cuadro a continuación se detallan las coordenadas (UTM zona 15N) de los puntos visitados así como la concordancia entre la información de la fotografía y la del campo. Hubo un total de 6 puntos con clasificación incorrecta, de estos, 3 fueron identificados en la fotografía como arbustales pero en campo estos eran bosques.

Id	Latitud	Longitud	cobertura	error
1	763925	1621594	bosque	
2	764140	1621560	cultivo	error bosque
3	764066	1621750	bosque	
4	764997	1621594	bosque	
5	765748	1621578	arbustal	
6	766604	1622851	bosque	
7	767002	1622367	bosque	
8	766686	1621875	bosque	
9	766249	1621524	bosque	
10	762587	1622961	bosque	
11	762958	1622834	bosque	
12	763485	1622578	bosque	
13	763559	1623413	bosque	
14	763868	1623500	arbustal	
15	765051	1623227	arbustal	error bosque
16	765259	1623789	bosque	error arbustal
17	765063	1624299	arbustal	
18	762926	1623295	urbano	
19	763051	1623417	arbustal	
20	762344	1623435	bosque	
21	762323	1623149	arbustal	error bosque
22	764176	1624754	cultivo	cambio 01-04
23	764787	1625475	bosque	
24	764894	1625469	arbustal	error bosque
25	766117	1625376	arbustal	
26	765904	1625239	bosque	
27	766292	1625364	arbustal	
28	766738	1625758	bosque	
29	766676	1625872	arbustal	
30	766635	1625959	bosque	
31	767197	1624897	arbustal	
32	767377	1625020	arbustal	
33	767487	1625424	bosque	error arbustal

Concordancia entre la fotografía aérea y la información de campo para los puntos de confusión en la interpretación



Se identificó además el punto 22, que en 2001 se identifica como área de cultivos y que en 2004 -año en que se realizó la verificación en campo- se observan áreas urbanas. Este es uno de los problemas que se pueden presentar cuando la verificación en campo de la interpretación ocurre varios años después. Este punto no fue tomado como error en el análisis. De acuerdo a los 6 puntos mal interpretados en esta primera visita, el porcentaje de error preliminar era de 18%.

SEGUNDA VISITA DE CAMPO: VERIFICACIÓN EN CAMPO

En esta visita se identificaron 32 puntos al azar, localizados a una distancia aproximada de 1000m. El cuadro a continuación presenta el detalle de qué puntos fueron congruentes con la realidad

Id	Latitud	longitud	cobertura	verificación
1	760500	1621499	urbano	ok
2	761551	1621496	urbano	ok
3	762502	1621502	urbano	ok
4	761501	1620501	urbano	ok
5	762499	1620501	urbano	ok
6	763500	1620501	arbustal	bosque
7	763500	1621499	bosque	ok
8	763500	1619500	urbano	ok
9	764502	1620501	urbano	ok
10	764502	1621499	urbano	ok
11	765500	1621499	arbustal	ok
12	766550	1621499	arbustal	ok
13	766501	1622500	urbano	ok
14	766501	1623502	arbustal	inaccesible
15	765500	1622500	bosque	inaccesible
16	765500	1623498	urbano	ok
17	764502	1622497	arbustal	ok
18	764505	1623498	urbano	ok
19	763500	1622500	bosque	urbano*
20	763500	1623502	bosque	ok
21	762499	1622500	urbano	ok
22	762499	1623502	arbustal	ok
23	761501	1622500	urbano	ok
24	763500	1624500	arbustal	ok
25	764502	1624500	urbano	ok
26	764502	1625501	arbustal	bosque
27	765500	1624500	bosque	ok
28	766501	1624500	urbano	ok
29	767499	1624500	arbustal	ok
30	765500	1625501	bosque	ok
31	766501	1625501	arbustal	ok
32	767499	1625501	arbustal	ok

* cambio 2001-2004

Puntos de verificación para determinar el porcentaje de error de la interpretación



Se puede observar que de los 32 puntos, 2 presentaron error, confundiéndose un área de bosque con arbustales. De acuerdo a las dos visitas realizadas, este fue el tipo de error más recurrente. Por otra parte se identificó nuevamente un área en la que hubo cambios en el período 2001-2004 (punto 19), en el que había un bosque que actualmente es área urbana. En esta visita hubo dos puntos inaccesibles, ya que se encontraban en áreas de baja seguridad (afueras de la Colonia Betania); éstos no fueron tomados en cuenta en el cálculo del porcentaje de error. El cálculo fue realizado sobre 30 puntos, tomando en cuenta dos puntos mal interpretados, por lo que el error es de 6.66%.

