



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente
(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Evaluación del impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector
Noreste de Antigua Guatemala
nombre del proyecto de investigación

4.8.16.4.72

Partida presupuestaria

Centro de Estudios Urbanos y Regionales (Ceur)
unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Ronald Mynor Peláez Sánchez (Coordinador)
Nathalie Andrea Duarte Castañeda (Investigadora)
Gerber Daniel Guzmán Flores (Auxiliar de Investigación II)
María Fernanda Rivas (Investigadora)

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Nueva Guatemala de la Asunción, 29/11/2023
lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

M. Sc. Andrea Rodas Morán
Coordinadora Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Autores

Ronald Mynor Peláez Sánchez (Coordinador)
Nathalie Andrea Duarte Castañeda (Investigadora)
Gerber Daniel Guzmán Flores (Auxiliar de Investigación II)
María Fernanda Rivas (Investigadora)

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2023.
El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.16.4.72 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

1 Índice general

	Pág.
1 Índice general.....	3
2 Resumen	7
3 Introducción.....	9
4 Antecedentes	11
5 Planteamiento del problema.....	11
6 Marco teórico.....	12
7 Estado del arte	17
8 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)	24
9 Hipótesis	24
10 Materiales y métodos	24
1.1 Enfoque de la investigación	24
1.2 Método.....	25
1.3 Técnicas e instrumentos.....	25
1.4 Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	26
1.5 Procesamiento y análisis de la información	27
2 Coherencia de la propuesta de investigación	27
11 Aspectos éticos y legales (no aplica).....	27
12 Resultados y discusión	28
12.1 Resultados.....	28
a) Objetivo específico. Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.....	28

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

b) Objetivo específico. Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.....	45
12.2 Discusión de resultados	55
a) Objetivo específico. Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.....	55
b) Objetivo específico. Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.....	56
13 Conclusiones	59
14 Recomendaciones	61
15 Referencias	62
16 Apéndice	65
17 Vinculación	85
18 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual.....	85
19 Aporte de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) ..	85
20 Orden de pago final	86
21 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación.....	86
21 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario.....	87
22 Visado de la Dirección General de Investigación.....	87

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Índice de Figuras

Figura 1. Polígono preliminar del área de estudio a junio de 2023.	28
Figura 2. Polígono de índice de vegetación 2023.	29
Figura 3. Ráster de usos del suelo (modelos de datos espaciales).	30
Figura 4. Puntos de entrenamiento para utilizar en el algoritmo de clasificación.	31
Figura 5. Composición de bandas en falso color (infrarrojo cercano, rojo y verde)	32
Figura 6. Capa del Uso de la tierra del MAGA 2020.	33
Figura 7. Mapa preliminar de clasificación del uso del suelo para el norte de Antigua Guatemala.	34
Figura 8. Fotografía de la casa patronal de la Finca La Chacra y del área boscosa de la misma continua a la RN-10, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.	35
Figura 9. Fotografía del área boscosa de la Finca La Chacra e ingreso vehicular a urbanización adyacente a la misma y continua a la RN-10, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.	36
Figura 10. Muestra de suelo de capa vegetal tomada en el sector del Cerro La Cruz, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.	37
Figura 11. Flora y fauna de la muestra de suelo tomada en el sector del Cerro La Cruz, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.	38
Figura 12. <i>Fotografía calle principal de la aldea San Juan Gascón, Municipio de Antigua Guatemala 2023.</i>	39
Figura 13. <i>Fotografía del campo de futbol de la aldea San Juan Gascón y del movimiento de tierras realizado en las cercanías del mismo en 2023.</i>	40
Figura 14. <i>Fotografía de vista panorámica desde la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, 2023.</i>	41
Figura 15. <i>Ubicación del parque central de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.</i>	42
Figura 16. <i>Vista hacia el occidente de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.</i>	43
Figura 17. <i>Ubicación de viviendas en laderas de cerros colindantes al Norte de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.</i>	44
Figura 18. Mapa de temperatura superficial terrestre media para el año 2014 en el polígono de incidencia.	45
Figura 19. Mapa de temperatura superficial terrestre media para el año 2022 en el polígono de incidencia.	46
Figura 20. Gráfica de dispersión de la temperatura superficial terrestre en el polígono de incidencia por mes para el año 2014.	47

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 21. Gráfica de dispersión de la temperatura superficial terrestre del polígono de incidencia por mes para el año 2022.	48
Figura 22. Gráfica de dispersión de temperatura superficial terrestre en el polígono de incidencia en temporada lluviosa año 2014.	49
Figura 23. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el INSIVUMEH.	54
Figura 24. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el INSIVUMEH.	58
Figura 25. Polígono preliminar del área de estudio a mayo de 2023.	65
Figura 26. Polígono a detalle del área de estudio a mayo de 2023.	66
Figura 27. Dispositivos y equipo utilizados para el levantamiento fotogramétrico del polígono de incidencia de la Antigua Guatemala en 2023.	67
Figura 28. Imágenes aéreas tomadas por vehículo aéreo de los polígonos de incidencia del área de estudio del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.	68
Figura 29. Ubicación de puntos de control y de observación para el levantamiento fotogramétrico en la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, 2023.	69
Figura 30. Equipo y material impreso utilizado para la verificación de datos durante la visita técnica de trabajo realizada el 24 de octubre de 2023.	70
Figura 31. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el Insivumeh.	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	26
Tabla 2. Coherencia de la propuesta de investigación.	27



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

2 Resumen

El crecimiento de la Ciudad de La Antigua Guatemala ha alterado la planificación y los esquemas originales de su ordenamiento, ocasionando un cambio en los usos de suelo destinados a la vivienda, al comercio y los servicios, con la consecuente construcción habitacional en su periferia. Este desarrollo ha sobrepasado la capacidad de las autoridades para planificar su crecimiento urbano, poniendo en riesgo su estatus de Patrimonio Mundial y la calidad de vida de la población. Por ello, se estudiará el comportamiento actual del usos de suelo en las zonas dentro de los polígonos de amortiguamiento y áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala; con el objetivo de actualizar estos polígonos y proponer nuevos usos de suelo que contribuyan a ampliar el ámbito de intervención del Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala y de las futuras autoridades municipales, tanto para el mejor ordenamiento del municipio como para la generación de reformas y nuevas propuestas de ley que promuevan nuevas áreas, municipales y privadas, para servicios ambientales y sitios de interés turístico y ecológico; incentivando planes de desarrollo que permitan redefinir los límites físicos de hasta dónde y cómo se pretende que la ciudad siga expandiéndose. Para ello, se realizará un levantamiento fotogramétrico para la obtención de ortofotos y elaborar con ellos, usando herramientas GIS, mapas actualizados de usos de suelo, así como un modelo digital de superficie de la región.

Palabras clave: ordenamiento territorial (1); recursos naturales (2); servicios ambientales (3); sistemas de información geográfica (4); zona de amortiguamiento (5).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Abstract

The growth of the City of Antigua Guatemala has altered the original planning and schemes of its organization, causing a change in the land uses destined for housing, commerce and services, with the consequent construction of housing in its periphery. This development has exceeded the capacity of the authorities to plan its urban growth, putting at risk its World Heritage status and the quality of life of the population. Therefore, the current behavior of land use in the areas within the buffer polygons and green areas of the Northeast sector of the Municipality of Antigua Guatemala will be studied; with the aim of updating these polygons and proposing new land uses that contribute to expanding the scope of intervention of the National Council for the Protection of La Antigua Guatemala and the future municipal authorities, both for the better planning of the municipality and for the generation of reforms and new law proposals that promote new areas, municipal and private, for environmental services and sites of tourist and ecological interest; encouraging development plans that allow redefining the physical limits of how far and how the city is intended to continue expanding. To this end, a photogrammetric survey will be carried out to obtain orthophotos and elaborate with them, using GIS tools, updated maps of land uses, as well as a digital surface model of the region.

Keywords: land use planning (1); natural resources (2); environmental services (3); geographic information systems (4); Buffer zone (5).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

3 Introducción

Esta propuesta de investigación se presenta en seguimiento a la Política Ambiental de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual garantiza la sostenibilidad del desarrollo y del medio ambiente en Guatemala. Así como el derecho de los habitantes a vivir en un ambiente sano por medio de la conservación de los recursos naturales, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos enfocados a la conservación de los recursos naturales y a la calidad del aire, al ordenamiento territorial, la gestión del entorno y la movilidad, así como a la protección del patrimonio cultural y natural del país (Usac, 2014). La misma se desarrollará dentro del Eje Temático 2: Cambio Climático y Gestión de Riesgos, el cual gira entorno al cambio climático como una amenaza global que provoca fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes y graves en los patrones de precipitación y temperatura;

Por lo anterior, se evaluará la actual situación de las superficies verdes al Noreste de la periferia de la Ciudad de Antigua Guatemala, para poder interpretar los impactos negativos de la urbanización en el sector como la pérdida de biodiversidad y zonas de recarga hídrica; proponiendo acciones que contribuyan a la consecución del Plan Nacional sobre Cambio Climático. Tales como la reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al proceso acelerado de urbanización. Así como el generar insumos que aporten a los vacíos de información del Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala del SGCCC, en cuanto al generar datos básicos para la mejor comprensión de los peligros y la elaboración de mapas de amenaza permitan tener un mayor detalle de las zonas expuestas a estos riesgos (Flores & Cifuentes, 2019)

Al respecto, el crecimiento reciente de la Ciudad de La Antigua Guatemala ha alterado la planificación y los esquemas originales de ordenamiento de la misma (Búcaro & McMannis, 1996). Estas dinámicas de crecimiento poblacional han ocasionado cambio en los usos de suelo destinados originalmente al comercio y servicios, con la consecuente construcción habitacional en la periferia del municipio y en donde, la presión de la población sobre los recursos naturales de la zona, el crecimiento y la densificación urbana han provocado un acelerado cambio de estos usos (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007, 2012).

Este desarrollo ha sobrepasado la capacidad de las autoridades para planificar su crecimiento urbano. Con ello, se pone en riesgo el perder la única ciudad conservada en el país, así como su estatus de Patrimonio Mundial, pero principalmente, el reducir la calidad de vida de sus vecinos y visitantes (Magaña Juárez, 2011). El Plan Regulador de Antigua Guatemala (1973), establece que una de las características particulares de Antigua Guatemala lo constituye el paisaje natural que la rodea, compuesto por cerros, volcanes y bosques y cafetos; debiendo conservarse estos por medio de la protección de las faldas de los cerros y prohibiendo la construcción de viviendas en las pendientes de los cerros para evitar con ello, el crecimiento disperso del área urbana.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Por ello, en la presente propuesta de investigación se pretende estudiar el comportamiento actual de los usos de suelo del municipio de Antigua Guatemala, específicamente en la región Noreste, en las zonas ubicadas dentro de los polígonos de conservación y amortiguamiento estipulados en el Decreto Legislativo No. 60-69 (1969). Así como en los respectivos polígonos de territorios montañoses adyacentes ubicados en esta región, propuestos en la zonificación planteada por Búcaro & McMannis (1996), para la implementación de zonas verdes dentro del denominado Cinturón Verde de Antigua Guatemala (Civa) en donde previamente se han identificado zonas de recuperación boscosa y captura de carbono. La mayor parte de esta área es propiedad del Estado, lo que facilitaría la implementación de proyectos de beneficio común; otro porcentaje esta área es propiedad privada, por lo que puede incentivarse su uso como reserva natural de carácter privado.

Dicha propuesta de investigación se plantea debido a que se considera que las dinámicas sociales y económicas del municipio han sobrepasado los límites de los polígonos anteriormente descritos creando, entre otros: incertidumbre en la toma de decisiones por parte de las autoridades para el ordenamiento territorial a futuro del municipio; impedimentos para realizar mediciones adecuadas para proyectos de beneficio común; dificultad para administrar los recursos del municipio y el uso adecuado del suelo. Por lo cual se requiere de una actualización del uso del territorio de la Antigua Guatemala para asegurar la consecución del bien común, en armonía con el necesario e indispensable desarrollo y con el entorno natural que le rodea (Magaña Juárez, 2011).

Debido a esta problemática, se plantea para esta investigación el objetivo general de actualizar estos polígonos y proponer alternativas de nuevos usos de suelo en donde se identifiquen zonas de cobertura boscosa, vegetación, edificaciones, infraestructura y de vocación ambiental para captura de carbono que contribuyan a ampliar el ámbito de intervención del Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala (CNPAG), así como de las futuras autoridades municipales; incentivando, como lo describen Búcaro & McMannis (1996), la creación de planes de desarrollo impulsados por los gobiernos locales que permitan el actualizar y redefinir los límites físicos de hasta dónde y cómo se pretende que la ciudad se siga expandiendo.

Para ello, se realizará un levantamiento fotogramétrico para la obtención de ortofotos, ello debido al grado de precisión en la información requerida, con las cuales se elaborarán, con el empleo de GIS (Sistemas de información geográfica, en español), mapas actualizados con datos georreferenciados de usos de suelo, así como un inventario de los mismos y un modelo digital de superficie de la región Noreste del Municipio de Antigua Guatemala. La investigación tendrá una duración de 6 meses (1 de junio-30 de noviembre 2023).

Para la elaboración de esta propuesta se conversó con el Dr. Javier Quiñonez, actual Conservador de la Antigua Guatemala. Dicha reunión se realizó el día 17 de abril del presente año, con la finalidad de establecer las necesidades del Municipio de Antigua Guatemala en torno a su ordenamiento territorial y la conservación de su riqueza natural. Es de mencionar el hecho de que, si bien no se obtuvo una vinculación oficial

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

interinstitucional, de aprobarse la presente propuesta de investigación se cuenta con el conocimiento y ofrecimiento de apoyo por parte del Señor Conservador para brindar asesoría y seguimiento durante el desarrollo de la investigación durante el 2023. Así como el apoyo logístico para la realización de las visitas técnicas de campo y reuniones con las partes interesadas del Municipio de Antigua Guatemala.

4 Antecedentes

El Plan Regulador de Antigua Guatemala (1973), establece que una de las características particulares de Antigua Guatemala lo constituye el paisaje natural que la rodea, compuesto por cerros, volcanes y bosques y cafetos; debiendo conservarse estos por medio de la protección de las faldas de los cerros y prohibiendo la construcción de viviendas en las pendientes de los cerros. Para evitar con ello, el crecimiento disperso del área urbana y conservando los bosques aledaños como pulmones para la ciudad.

Sin embargo, este crecimiento de la ciudad, particularmente desde 1996, ha alterado la planificación original antes descrita, afectando el análisis de las áreas propuestas, así como a los esquemas preliminares de ordenamiento territorial (Búcaro & McMannis, 1996).

Estas dinámicas de crecimiento poblacional han ocasionado cambio en los usos de suelo del tipo destinado a la vivienda hacia el del comercio y servicios con la consecuente construcción habitacional en la periferia del Municipio de Antigua Guatemala. Construcción que se ha dado en sectores de fincas utilizadas para la construcción de proyectos urbanísticos como colonias residenciales. Con ello, ha aumentado la cantidad de poblados urbanos, de 21 en 1994 a 44 en 2002; incrementando el área y población urbana del municipio (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007).

Este desarrollo en torno a la explotación económica del patrimonio de la ciudad, ha sobrepasado la capacidad de las autoridades del municipio para planificar su crecimiento urbano, así como el atender y resolver las intervenciones requeridas, considerando que el cambio en los usos del suelo dificulta la conservación de la arquitectura y al deterioro de la actual imagen urbana. Con ello, se pone en riesgo el perder la única ciudad conservada en el país, así como su estatus de Patrimonio Mundial, y principalmente el reducir la calidad de vida de sus habitantes y visitantes (Magaña Juárez, 2011).

5 Planteamiento del problema

El reciente crecimiento de la Ciudad de La Antigua Guatemala ha alterado la planificación y los esquemas originales de ordenamiento de la misma (Búcaro & McMannis, 1996). Estas dinámicas de crecimiento poblacional han ocasionado cambio en los usos de suelo destinados a la vivienda hacia el del comercio y servicios, con la consecuente construcción habitacional en la periferia del municipio y en donde, la presión de la población sobre los recursos naturales de la zona, el crecimiento y la densificación urbana han provocado un acelerado cambio de usos de suelo (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007, 2012). Este desarrollo ha sobrepasado la capacidad de las autoridades para planificar su crecimiento urbano, considerando que el cambio sin control en los usos de suelo

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

contribuye al detrimento de la imagen urbana y dificulta la conservación de la arquitectura existente. Con ello, se pone en riesgo el perder la única ciudad conservada en el país, así como su estatus de Patrimonio Mundial y, principalmente, el reducir la calidad de vida de sus vecinos y visitantes (Magaña Juárez, 2011).

Por ello, en la presente propuesta de investigación se pretende estudiar el comportamiento actual de los usos de suelo del municipio de Antigua Guatemala, específicamente en la región Noreste, en las zonas ubicadas dentro de los polígonos de conservación y amortiguamiento estipulados en el Decreto Legislativo No. 60-69 (1969). Así como en los respectivos polígonos propuestos en la zonificación planteada por Búcaro & McMannis (1996), para la implementación de zonas verdes dentro del denominado Cinturón Verde de Antigua Guatemala (Civa).

Lo anterior debido a que se considera que las dinámicas sociales y económicas del municipio han sobrepasado los límites de los polígonos anteriormente descritos creando, entre otros: incertidumbre en la toma de decisiones por parte de las autoridades para el ordenamiento territorial a futuro del municipio; impedimentos para realizar mediciones adecuadas para proyectos de beneficio común: dificultad para administrar los recursos del municipio y el uso adecuado del suelo. Por lo cual se requiere de una actualización del uso del territorio de la Antigua Guatemala para asegurar el logro del bien común, en armonía con el necesario e indispensable desarrollo y con el entorno natural que le rodea (Magaña Juárez, 2011).

Debido a esta problemática, se plantea el redefinir y delimitar los polígonos de amortiguamiento y áreas verdes de la región Noreste del municipio para proponer alternativas de nuevos usos de suelo que contribuyan a ampliar el ámbito de intervención del CNPAG y de las futuras autoridades municipales, tanto para el mejor ordenamiento del municipio como para la generación de reformas y nuevas propuestas de ley. Así como el promover nuevas áreas, tanto municipales como privadas, para servicios ambientales y sitios de interés turístico, recreativo y ecológico que promuevan una sociedad ambientalmente sensible; incentivando, como lo describen Búcaro & McMannis (1996), la creación de planes de desarrollo impulsados por los gobiernos locales que permitan el actualizar y redefinir los límites físicos de hasta dónde y cómo se pretende que la ciudad se siga expandiendo.

6 Marco teórico

El municipio de Antigua Guatemala está ubicado en el Valle de Panchoy, a una altura de 1,530 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra a 40 kilómetros de la ciudad capital y está unida a esta por carretera asfaltada (Ruta Nacional 10). Sus principales vías de comunicación, además de la anterior, la unen a Escuintla y a Palín en la costa del Pacífico y al altiplano occidental y Chimaltenango (Plan Regulador de Antigua Guatemala, 1973).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Dinámica poblacional

La población del municipio de Antigua Guatemala ha sido objeto de estudio a lo largo del tiempo a través de diversos censos de población realizados. Estos censos permiten conocer la evolución demográfica del municipio, así como su distribución por género, edad y otros factores relevantes.

El primer censo de población que se tiene registro en Guatemala data del año 1778, durante la época colonial. En ese entonces, la población del municipio de Antigua Guatemala era de aproximadamente 12,000 habitantes. Durante la época colonial, esta ciudad fue una de las más importantes de Centroamérica, y su población creció gracias a la llegada de colonos españoles y a la explotación de recursos naturales.

En el siglo XIX, con la independencia de Guatemala, se realizaron varios censos de población que permitieron conocer la evolución demográfica del país. En el censo de 1838, se registró que la población del municipio de Antigua Guatemala había disminuido a 4,000 habitantes. Esto se debió en parte a los efectos de los terremotos que habían afectado la ciudad en años previos.

En el censo de 1877, se registró un aumento en la población del municipio de Antigua Guatemala, que alcanzó los 5,000 habitantes. Durante este siglo, la ciudad comenzó a recuperarse de los efectos de los terremotos y se convirtió en un importante centro turístico y cultural.

En el siglo XX, se realizaron varios censos de población que permitieron conocer la evolución demográfica del municipio de Antigua Guatemala. En el censo de 1950, se registró que la población había aumentado a 7,000 habitantes. En el censo de 1964, se registró un aumento aún mayor, con una población de 14,000 habitantes. Este aumento se debió en parte al crecimiento económico que experimentó Guatemala durante este periodo. Según el censo del 2002 la población era de 41,097 habitantes.

En el censo más reciente, realizado en 2018, se registró que la población del municipio de Antigua Guatemala era de 46054 habitantes, 22403 hombres y 23651 mujeres (Instituto Nacional de Estadística, 2018). Este aumento en la población se debe en parte al crecimiento económico y turístico que ha experimentado el municipio en las últimas décadas.

En términos generales, la evolución demográfica del municipio de Antigua Guatemala ha sido marcada por altibajos a lo largo del tiempo. Sin embargo, en las últimas décadas ha experimentado un importante crecimiento económico y turístico que ha impulsado su desarrollo y ha permitido un aumento en su población.

En conclusión, los censos de población realizados a lo largo del tiempo permiten conocer la evolución demográfica del municipio de Antigua Guatemala y su distribución por género, edad y otros factores relevantes. Estos datos son fundamentales para la planificación y toma de decisiones en materia económica, social y cultural.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Antigua Guatemala

La ciudad de hoy conocemos como La Antigua Guatemala, la cual se fundó originalmente en el sitio precolombino de Iximché en 1524 con el nombre de Santiago de Guatemala (Magaña Juárez, 2011), fue asentada oficialmente en 1543 en el valle de Panchoy, o Pancan, que en Kaqchiquel significa Laguna Grande (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007).

Al igual que otras ciudades españolas en América surgidas durante la Colonia, La Antigua Guatemala se fundó en torno a una Plaza Mayor, constituyendo el centro y corazón de la ciudad, con una trama urbana en retícula ortogonal, determinando en gran medida el ordenamiento territorial al concederse parcelas para las órdenes religiosas y familias importantes. Esta planificación era posible debido al inmenso territorio disponible para esta traza urbana, imponiéndose por sobre las ciudades y poblados precolombinos existentes. Estas regulaciones para la creación de los nuevos poblados y ciudades, están contenidas en las Ordenanzas expedidas por Felipe II el 3 de mayo de 1576. A partir de ello, el trazo de las ciudades se realizó por medio de regla y cordel siguiendo un trazo geométrico en el cual las calles se interceptan formando una retícula en forma de red, orientada en la mayoría de las veces según los puntos cardinales (Magaña Juárez, 2011).

Magaña Juárez (2011) subraya que en el caso de Santiago de Guatemala también se empleó este tipo de retícula, la cual permitía el crecimiento de la ciudad con base en planteamientos teóricos, tal como la expresa algunas de estas Ordenanzas al indicar que “aunque la población vaya en gran crecimiento, se pueda siempre proseguir y dilatar en la misma forma” (p. 95). En el caso de Santiago de Guatemala, las características del valle de Panchoy propiciaron la implementación de estas trazas, a lo cual se agrega el valor del paisaje alrededor, dándole ese entorno de integración y unidad entre la ciudad y la naturaleza con características únicas e indivisibles.

Como se mencionó anteriormente, el nuevo asentamiento quedó oficialmente establecido el 10 de marzo de 1543, a partir de allí, y durante los siguientes 230 años, esta ciudad se desarrolló en función de su crecimiento económico, religioso y cultural y político. Cuando la ciudad fue trasladada oficialmente al Valle de la Ermita o de la Asunción, con el primer cabildo del Ayuntamiento el 2 de enero de 1776 convirtiéndose posteriormente en la Nueva Guatemala de la Asunción, la ciudad dejada atrás (Santiago de Guatemala) pasó a ser conocida como La Antigua Guatemala y fue declarada como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco en 1979, en gran parte por los monumentos y valores arquitectónicos, tanto precolombinos como hispánicos, que contiene (Magaña Juárez, 2011).

Sin embargo, si bien la antes Santiago de Guatemala ya no es la capital del país, su crecimiento está interfiriendo con el desarrollo y el ambiente. La retícula colonial, descrita anteriormente, que permitía su expansión casi ilimitada no es eficiente actualmente; por lo cual se requiere de un nuevo ordenamiento de su territorio para asegurar el logro del bien común en armonía con el entorno natural que le rodea (Magaña Juárez, 2011).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Lo anterior parte de la consideración de que la ausencia de planes de desarrollo sostenible incide de forma negativa la calidad de vida de los habitantes al afectar la situación de los recursos hídricos, así como a la flora y fauna del lugar. Por lo cual se considera necesario el aumentar el área de espacios verdes públicos en las propiedades municipales, así como el incentivar la generación de estos en espacios privados cuyos propietarios deseen utilizar sus propiedades para espacios verdes.

Por ello, en 1969 se promulga por el Congreso de la República el Decreto No. 60-69, Ley Protectora de La Antigua Guatemala, en cuya exposición de motivos se indica que esta ciudad constituye un conjunto monumental de gran valor para el patrimonio nacional. Ello debido a que ha conservado su fisonomía colonial, a diferencia de la mayoría de ciudades en América, a pesar de las transformaciones a través de los siglos hasta la actualidad.

Lo anterior ha conservado su estado de ruina con el valor estético como las calles empedradas y la apariencia exterior e interior de las casas de habitación. Pero también implica la conservación tanto del paisaje como del entorno natural que rodea la ciudad sin alterar los sistemas montañosos que circundan el Valle de Panchoy, ello para no restar la belleza del marco natural que rodea a la urbe de Santiago de Guatemala (Decreto Legislativo No. 60-69, 1969).

Asimismo, esta ley dicta que es imperativo y urgente el promulgar los normativos legales que regulen y gestionen todo lo relacionado al cuidado, restauración, protección y conservación de los bienes ubicadas en la ciudad de La Antigua Guatemala, así como en las áreas circundantes que integran en conjunto una unidad de paisaje, de cultura, expresión y arte. A continuación, se describen los principales artículos de este normativo:

Artículo 1º. Se declara de utilidad pública y de interés nacional la protección, restauración y conservación de La Antigua Guatemala, así como de las áreas circundantes que integran con ella una sola unidad de paisaje, cultura y expresión artística.

Artículo 2º. Se crea el Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala, como entidad estatal descentralizada, con personalidad jurídica, fondos privativos y patrimonio propio. Con la misión fundamental del cuidado, protección, conservación y restauración de los bienes muebles e inmuebles, nacionales, municipales y particulares, situados en aquella ciudad y de áreas circundantes.

Artículo 11. Se Determina un perímetro urbano colonial de la Ciudad de La Antigua Guatemala.

Artículo 13. Se consideran protegidos por esta ley todas las áreas fijadas en el Artículo 11 y los inmuebles construidos durante la época colonial, en los diferentes estilos que privaron, así como de aquellos posteriores a la independencia, que tengan un valor arquitectónico positivo, ya sea que se localicen dentro o fuera del perímetro urbano de La Antigua Guatemala. Pero dentro de la zona de conservación o influencia de esa ciudad y cuya protección y conservación sea de Interés público por su valor artístico y/o histórico, cualquiera que sea su propietario.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Artículo 38. Se asigna al consejo para la Protección de la antigua Guatemala la elaboración del proyecto del Plan Regulador de la Ciudad y áreas aledañas, el cual someterá a la aprobación definitiva a la municipalidad de La Antigua Guatemala. De igual forma se procederá en cuanto a cualquier modificación al Plan Regulador. Asimismo, el Instituto de Fomento Municipal prestará asistencia técnica y financiera al Consejo para facilitar la realización de sus fines.

Polígonos de conservación y amortiguamiento

El Plan Regulador descrito anteriormente y elaborado en 1973 por el CNPAG, representa un esquema integral para el desarrollo urbano de Antigua Guatemala, la cual constituye un centro de servicios para los municipios circundantes al Valle de Panchoy en cuanto al comercio y distribución de productos agrícolas, entre otros. Sin embargo, estas actividades de servicios han tenido una enorme influencia en la estructura física de la ciudad, contribuyendo al rompimiento de la planta tradicional, así como el deterioro de la vivienda y los monumentos históricos (Plan Regulador de Antigua Guatemala, 1973). Este plan, conocido también como Plan Maestro, buscaba preservar el futuro de La Antigua Guatemala, es así como el Decreto 60-69 garantiza esa preservación definiendo un polígono (Figura 1), dentro del cual quedaron incluidas las áreas de Conservación y amortiguamiento del casco urbano en donde puede darse el indispensable y necesario crecimiento urbano (Magaña Juárez, 2011).

Áreas verdes

Al respecto de la conservación de las áreas verdes del municipio, el Artículo 3 de los Parámetros Normativos para Áreas Urbanizables que se localicen dentro del Cinturón Verde del Municipio de La Antigua Guatemala, describen el llamado Cinturón Verde del municipio, el cual está conformado por los cerros y montañas con cobertura boscosa ubicados en torno de la ciudad de Antigua Guatemala. En donde, para preservar el “paisaje natural que la rodea, así como los recursos naturales, la biodiversidad y minimizar el riesgo de desastres naturales por deslizamientos de tierras, queda prohibida la tala de árboles y la construcción de edificaciones; salvo en áreas que se consideren urbanizables” (Parámetros Normativos para Áreas Urbanizables que se localicen dentro del Cinturón Verde del Municipio de La Antigua Guatemala, 2010, Artículo 3). Al respecto de este normativo, a continuación, se describen los principales artículos de estos parámetros normativos:

Artículo 1. Objeto. Estos parámetros normativos para áreas urbanizables, tienen el objetivo de establecer los aspectos técnicos para normar la organización de los usos de suelos, así como la densidad poblacional y habitacional, el fraccionamiento y la construcción de los predios que se localicen dentro del Cinturón Verde.

Artículo 2. Campo de Aplicación. Estos parámetros aplican solo a las siguientes aldeas: San Felipe de Jesús, El Hato, San Mateo Milpas Altas, San Juan Gascón, Santa Inés del Monte Pulciano, Santa Ana, San Cristóbal El Bajo y San Cristóbal El Alto.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Artículo 4. Criterios de definición para las áreas urbanizables dentro del Cinturón Verde: Estas áreas dependen de las características naturales que tenga cada una de estas en cuanto a topografía, hidrografía y su nivel de ocupación de construcción. Para ello, se establecen las siguientes: Áreas Urbano Consolidadas (UC): espacio físico construido que están ocupadas por aldeas, caseríos, cantones u otras formas de ocupación. Áreas Urbanizables Tipo 1: constituyen las áreas, predios o parte de predios con pendientes del nivel natural del terreno menores o igual al 11%. Áreas Urbanizables Tipo 2: son las áreas, predios o partes de predios con pendientes del nivel natural del terreno mayor de 11% y menores o igual a 16%.

7 Estado del arte

La Antigua Guatemala, cabecera departamental de Sacatepéquez, se localiza en la parte central del Valle de Panchoy, acotada por los ríos Guacalate y Pensativo. Según el estudio de Planificación de Ordenamiento Territorial, Conservación Patrimonial y Desarrollo Económico para el Departamento de Sacatepéquez de 2018, su gran extensión y posición céntrica conlleva que sea limítrofe con los siguientes municipios:

- Este (de norte a sur): Magdalena Milpas Altas; Santa Lucía Milpas Altas; Santa María de Jesús y Santiago San Bartolomé Milpas Altas. La superficie urbana de La Antigua Guatemala queda desvinculada de estos municipios debido a la topografía acentuada del Cerro Candelaria (más conocido como Cerro de La Cruz), el Cerro Cucurucho y el Volcán de Agua.
- Oeste (de norte a sur): Ciudad Vieja; Jocotenango; Pastores; San Antonio Aguas Calientes y Sumpango. La conurbación norte de La Antigua Guatemala se prolonga hasta alcanzar Jocotenango y la agrupación sureste se extiende hasta Ciudad Vieja (Idom, 2018).

El Plan Regulador de Antigua Guatemala (1973), establece que una de las características particulares de Antigua Guatemala lo constituye el paisaje natural que la rodea, compuesto por cerros, volcanes y bosques y cafetos; debiendo conservarse estos por medio de la protección de las faldas de los cerros y prohibiendo la construcción de viviendas en las pendientes de los cerros. Para evitar con ello, el crecimiento disperso del área urbana y conservando los bosques aledaños como pulmones para la ciudad.

Sin embargo, este crecimiento de la ciudad, particularmente desde 1996, ha alterado la planificación original antes descrita, afectando el análisis de las áreas propuestas, así como a los esquemas preliminares de ordenamiento territorial (Búcaro & McMannis, 1996).

Estas dinámicas de crecimiento poblacional han ocasionado cambio en los usos de suelo del tipo destinado a la vivienda hacia el del comercio y servicios con la consecuente construcción habitacional en la periferia del Municipio de Antigua Guatemala. Construcción que se ha dado en sectores de fincas utilizadas para la construcción de proyectos urbanísticos como colonias residenciales. Con ello, ha aumentado la cantidad de poblados urbanos, de 21 en 1994 a 44 en 2002; incrementando el área y población urbana del municipio (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Este desarrollo en torno a la explotación económica del patrimonio de la ciudad, ha sobrepasado la capacidad de las autoridades del municipio para planificar su crecimiento urbano, así como el atender y resolver las intervenciones requeridas, considerando que el cambio en los usos del suelo dificulta la conservación de la arquitectura y al deterioro de la actual imagen urbana. Con ello, se pone en riesgo el perder la única ciudad conservada en el país, así como su estatus de Patrimonio Mundial, y principalmente el reducir la calidad de vida de sus habitantes y visitantes (Magaña Juárez, 2011).

Polígonos de Conservación, amortiguamiento y de áreas verdes

Bozzano y colaboradores (2008), indican que en esta región existen territorios donde privan las áreas verdes, así como zonas de transición entre estas y la zona urbana resaltando el hecho de que, entre 1967 y 1993, “se observa el retroceso del uso del suelo residencial, en concordancia con el creciente desarrollo turístico de la ciudad, con lo cual se va perdiendo una de las características más importantes de la imagen urbana de la Ciudad” (p. 206).

En esta región se denota la existencia de tres tipos de territorialidades: urbana, periurbana y natural. En donde, “la territorialidad urbana está muy bien marcada, dando paso inmediatamente a una territorialidad periurbana; siendo notable la escasa distancia que media entre ambas y una territorialidad natural, situación ligada a las características del sitio” (Bozzano et al., 2008, p. 216).

Al respecto de las áreas de amortiguamiento, la Consultoría de la delimitación de las Áreas circundantes de la Ciudad de La Antigua Guatemala, financiada por el CNPAG en 2015, hace referencia a la Guía Operativa para la Aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial por cuanto describe estas áreas de amortiguamiento (buffer zones, en inglés) como zonas que rodean un bien y que cuentan con restricciones legales, de uso y desarrollo con el fin de ampliar la protección y adecuada conservación del bien (Consejo Nacional para la Protección de La Antigua Guatemala, 2015).

Al respecto de la expansión urbana, como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos principales de estos cinturones es el controlar el crecimiento urbano al proporcionar zonas de amortiguamiento y de conservación de áreas protegidas (Alfie, 2011). Pero además de ello, estas estructuras proporcionan un medio de mitigación ante la contaminación ambiental, constituyéndose en medios para proporcionar servicios ecosistémicos como calidad del aire, calidad del agua y hábitats forestales. Además de proporcionar protección ambiental, contención del crecimiento urbano acelerado y la reducción de espacios abiertos (Ruiz-Sandoval et al., 2019).

Turismo.

Aunado a lo anterior, desde 1993 se observa la saturación de comercios dentro del casco urbano y una “carga potencial vinculada con la actividad turística y el alojamiento. Con lo cual se consolidan en la ciudad un notable predominio de su vocación turística y



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

cultural, en diversas variantes (turismo nacional e internacional, convenciones, etc.)” (Bozzano et al., 2008, p. 226).

Por ello, se considera que el país debe aprovechar la ventaja de administrar mejor sus recursos para administrarlos de mejor manera hacia el fomento de la actividad turística, entre otras. Propin Frejomil y colaboradores (2012), resaltan el que los rasgos singulares del paisaje natural como los volcanes (activos o no), áreas naturales protegidas o sitios con identidad geográfica y física constituyen recursos que pueden generar un atractivo mercado turístico internacional y en donde la Ciudad de La Antigua Guatemala tiene una significativa función turística, constituyéndose como el segundo lugar mayormente preferido por el turismo internacional (después de la Ciudad de Guatemala) por “tener mejores facilidades de infraestructura y condiciones de seguridad, en donde se articulan circuitos de visita a sitios importantes como los volcanes que le circundan” (p. 120).

Además, se considera recomendable la promoción del agroturismo en torno a las plantaciones de café, haciendas o rutas de recorrido existentes, que pueden constituir puntos centrales para este tipo de actividad turística. Aunado a nuevas propuestas que puedan surgir en torno a los recursos naturales, paisaje natural, cultura local, turismo religioso y patrimoniales que se pueden promover como nuevas alternativas para los turistas (Propin Frejomil et al., 2012). El ecoturismo es considerado como una fuente de ingresos tanto familiar, comunitario, municipal y privado.

Cinturones verdes

Las montañas que circulan el Valle de Panchoy ofrecen vistas pintorescas enmarcadas por los volcanes de Agua, de Fuego y Acatenango. Estas vistas paisajísticas constituyen el elemento natural que, junto con la ciudad propia, dan el carácter tan único al área de la ciudad de La Antigua Guatemala. Dentro de estos paisajes están las áreas verdes, o ecológicas, comprendidas dentro del denominado Cinturón Verde de La Antigua Guatemala (Civa), el cual, Búcaro & McMannis (1996), lo definen como el conjunto de áreas verdes que pretenden conservar el patrimonio cultural, amortiguar los cambios climáticos y mejorar la calidad del ambiente, reducir la erosión del suelo, permitir la recarga de los acuíferos y proporcionar servicios de ecoturismo para los visitantes y residentes del lugar. Además de que estas áreas fomentan el uso adecuado del suelo y su ordenamiento.

Originalmente, el área de influencia del Civa abarca gran parte del Departamento de Sacatepéquez, con doce municipios del mismo y con una extensión de superficie de 410 kilómetros cuadrados. Casi la mitad de este territorio propuesto como cinturón verde cuenta con áreas de reserva y parques nacionales como en el Cerro El Cucurucho, la Finca Florencia, Astillero El Hato y cafetales con potencial de integración como espacios verdes y cinturones ecológicos para la región (Búcaro & McMannis, 1996).

Sin embargo, aunque existe una reglamentación y áreas de protección como el caso del Civa, otra de las amenazas ambientales en la región es la pérdida de la cobertura de los bosques provocada por: la deforestación; los incendios forestales; la presión de la

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

población sobre los recursos naturales de la zona; el crecimiento y la densificación urbana, provocando un acelerado cambio de usos de suelo (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2012).

Ruiz-Sandoval y colaboradores (2019), citando a Amati (2008), refieren que un cinturón verde es “una estructura (verde) que ayuda a contener la expansión urbana, preservar la biodiversidad y salvaguardar las tierras para recreación, agricultura y silvicultura” (p. 4). Asimismo, Bartorila (2011), describe a estas estructuras como herramientas de la planificación, y a su vez como instrumentos, para integrar de manera coherente ecosistemas frágiles y necesarios dentro del ordenamiento territorial cuando no está suficientemente regulada la demanda de suelo para desarrollos urbanísticos, industriales, comerciales, espacios públicos y áreas verdes.

La noción de preservar un “cinturón” de suelo alrededor de centros urbanos data del Siglo XIX, en donde se empezaron a establecer espacios agrícolas cerca de asentamientos urbanos. Esta distinción, de uso de suelo urbano y rural, es considerada necesaria para mantener la belleza del paisaje natural y evitar la expansión de la mancha urbana de los centros poblados urbanos (Alfie, 2011). Ya que esta expansión puede entrar en conflicto con la naturaleza al perderse la relación con esta por parte de las sociedades urbanas, creando un “un entorno natural que el hombre, con sus actividades, transforma siempre de un paisaje natural a un paisaje económica y culturalmente aprovechado” (Troll, 2003, p. 72).

Además, los cinturones verdes proporcionan protección de cuencas hidrográficas y fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, favorece la captura de carbono, el tratamiento de desechos y la conservación de la biodiversidad por medio de la implementación de áreas verdes sustentables, así como la generación de servicios ambientales como recreación y turismo (Ruiz-Sandoval et al., 2019).

Tratamiento de desechos

La adecuada gestión de las áreas verdes (o cinturones ecológicos) constituye un esfuerzo para contener la expansión de las ciudades, mejorando la calidad de vida de sus habitantes sin alterar el ambiente que les rodea; tratando de ofrecer una solución a la falta de espacios verdes. Así como al tratamiento y disposición de desechos, la expansión de los límites físicos de las ciudades y al desarrollo acelerado de emprendimientos inmobiliarios (Carré & Fernández, 2013).

Al respecto de la disposición de desechos, puede considerarse el integrar, dentro de los cinturones verdes, centros de tratamientos de residuos sólidos como rellenos sanitarios. Los cuales acumulan estos residuos buscando que queden aislados del suelo, de la atmósfera, de los mantos freáticos y aguas superficiales; contribuyendo a la recuperación de áreas ambientalmente deterioradas (Carré & Fernández, 2013). Al respecto, el basurero municipal, denominado Choconal, se encuentra ubicado en la Finca Florencia al ingreso por el oriente del municipio y localizado dentro del Cinturón Verde.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Movilidad vehicular

Como se mencionó anteriormente, estos cinturones constituyen una herramienta para el ordenamiento territorial, incluyendo a la circulación vehicular en las ciudades; ofreciendo la oportunidad de un centro urbano ordenado y moderno, especialmente para las que conservan la característica de una zona central y bordes de expansión (Carré & Fernández, 2013). Asimismo, constituyen una herramienta para la contención de la conurbación entre ciudades o municipios, mediante la implementación de rellenos sanitarios, parques recreativos, vías de comunicación periféricas y de circunvalación (Fernández, 2016).

Todo el departamento es vulnerable a riesgo ante desastres debido a fenómenos naturales como los deslaves, con la consecuencia de los deslizamientos de tierra proveniente de las laderas, así como del manejo inadecuado de los suelos de las partes altas de las cuencas del mismo, incluyendo a los volcanes existentes en la zona. Además, está el riesgo de inundaciones provenientes de las vertientes de los ríos Pensativo y Guacalate, cercanos al casco urbano de Antigua Guatemala; las propias carreteras que ingresan y comunican al municipio son vulnerables a derrumbes, deslizamientos y hundimientos (Ceur, 2007).

Las vías de circulación constituyen el elemento más importante para la preservación del centro histórico de La Antigua Guatemala contenido dentro de la zona de Conservación, por lo el Cinturón Ecológico puede contener infraestructura vial como anillos de circunvalación y otras vías principales que sirvan a su vez para separar esta zona de conservación de nuevas áreas de desarrollo inmobiliario, comercial y turístico. Además de mejorar en sí misma la movilidad tanto peatonal como vehicular (Plan Regulador de Antigua Guatemala, 1973).

Sin embargo, esta importancia de la infraestructura vial para la conservación de los monumentos históricos no ha sido posible su implementación debido al desarrollo urbanístico de zonas que previamente habían sido planificadas como áreas turísticas y espacios públicos.

Como ejemplo de lo anterior, en el Plan Regulador de Antigua Guatemala (1973), se había planificado una vía de circulación vehicular desde el mercado terminal y bordeando el casco urbano del municipio por toda la parte Norte hasta empalmar con la Ruta Nacional 10, esta vía serviría también para dividir el área urbanizada de las áreas verdes de los cerros La Cruz y Manchén, en donde incluso se proyectaba un centro turístico en el cerro La Cruz (Figura 1),

La realización de este posible libramiento de la parte Norte de la ciudad de La Antigua Guatemala se ve dificultado actualmente debido a la autorización de proyectos urbanísticos de viviendas en laderas en torno al cerro Manchén, por lo cual esta vía alterna es considerada difícil de ejecutar en el corto y mediano plazo. En donde, la vía periférica descrita anteriormente sirva como un límite físico al crecimiento urbano.

Acuíferos



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Alfie (2011), resalta la necesidad de convertir las áreas verdes (cinturones ecológicos) en frentes contra el cambio climático, la pérdida de nutrientes del suelo, el impacto negativo en los microclimas y la falta de agua y alimentos. Al respecto, Troll (2003) describe que “si el hombre cambia la cubierta vegetal del suelo o, por agotar el agua, modifica artificialmente el nivel del manto acuífero, automáticamente cambia todo el ecosistema” (p. 78). A su vez, los cinturones verdes permiten integrar de manera armónica los sistemas de espacios verdes con las ciudades, preservando a la vez los recursos hídricos y áreas para desarrollo ecológico, de recreación y turismo (Bartorila, 2011).

Como se mencionó en el Marco Teórico de esta propuesta de investigación, la ciudad de hoy conocemos como La Antigua Guatemala fue establecida en el valle de Panchoy, lo cual puede indicar la presencia de un cuerpo de agua importante en la zona en épocas pasada (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007).

Al respecto, el valle aluvial de la Antigua Guatemala se estima que tiene una recarga potencial por precipitación de 50 millones de metros cúbicos por año, lo que representa aproximadamente el 24% de la precipitación total de la zona (Antigua Guatemala, Ciudad Vieja y Alotenango). Esto se considera de utilidad para realizar proyecciones de manejo sustentable y explotación a futuro de los recursos hídricos en el subsuelo de esta región (Orozco & Orozco et al., 2011).

Este valle de 30 kilómetros cuadrados se encuentra en la parte Norte del departamento de Sacatepéquez, en la cuenca de los ríos Achiguate y Guacalate en la vertiente del Pacífico del país y representa un potencial importante para la recarga de los acuíferos presentes en la zona (Orozco & Orozco et al., 2011). Además, se considera posible el manejo de este recurso hídrico subterráneo, aunque de una manera planificada y racional, para lograr su conservación y que este sea un recurso sustentable a través del tiempo evitando su sobre-explotación; considerándose necesaria la “debida planificación que incluya protección de las partes altas de la zona con el fin de mantener la recarga natural” (Orozco & Orozco et al., 2011, p. 78).

Rectificación de polígonos

Sin embargo, el crecimiento de la ciudad, particularmente desde 1996, ha alterado la planificación original antes descrita, afectando el análisis de las áreas propuestas, así como a los esquemas preliminares de ordenamiento territorial (Búcaro & McMannis, 1996). Por ello, en esta propuesta de investigación se plantea la redefinición de los polígonos anteriormente descritos como las áreas verdes; buscando con ello el delimitar nuevas zonas (tanto municipales como privadas) en donde puedan implementarse, entre otros, sitios de interés turístico, recreativo y ecológico dentro del denominado Cinturón Verde de la Antigua Guatemala.

Para la presente propuesta de investigación, y para ampliar el ámbito de intervención del CNPAG, se trabajará en la redefinición y actualización de dos polígonos susceptibles a ser convertidos en áreas verdes y dentro de la jurisdicción del Municipio de Antigua Guatemala; partiendo de que la falta de delimitación de áreas es un impedimento para



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

realizar mediciones adecuadas para proyectos de beneficio común. Así como para la creación de planes de desarrollo impulsados por los gobiernos locales que permitan una sociedad ecológicamente sensible, actualizando y redefiniendo los límites físicos de hasta donde se pretende que la ciudad se expanda. Los referidos polígonos propuestos para la región Noreste del municipio se toman de la zonificación planteada en el trabajo de Búcaro & McMannis (1996) (Figuras 2 y 3):

Área 3. Ubicada en los municipios de Antigua Guatemala, Jocotenango y Santa Lucía Milpas Altas. Delimitada por los cerros El Hato, El Piñón, El Manchén y la Guardianía. Según el Informe Final de 1996, se ha identificado en esta área zonas de recuperación boscosa y recarga hídrica, aunque parte del suelo se usa de manera inapropiada. La mayor parte de esta área es propiedad del Estado, lo que facilitaría la implementación de proyectos de beneficio común.

Área 5. Abarca los cerros Las Minas, Monterrico, Cucurucho y la Montaña Carmona. Esta área presentaba, en 1996, una buena cobertura boscosa y recarga de acuíferos. Un porcentaje considerable de esta área es propiedad privada, por lo que puede incentivarse su uso como reserva natural de carácter privado.

Al respecto, el límite municipal está delimitado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como organismo oficial encargado de generar, publicar y distribuir la información cartográfica oficial del país, según Acuerdo Gubernativo No. 548-2006 del Congreso de la República. Sin embargo, este límite presenta inconvenientes en cuanto a las escalas utilizadas para su elaboración, por lo cual se utilizarán los límites municipales elaborados por el Registro de Información Catastral (RIC), según recomendación del estudio de Planificación de Ordenamiento Territorial, Conservación Patrimonial y Desarrollo Económico para el Departamento de Sacatepéquez (Idom, 2018). Se hace la salvedad de que no se utilizarán los referidos límites del municipio, por cuanto esta investigación comprenderá un mapeo aéreo de las zonas en consideración, quedando los productos y resultados de esta investigación para su utilización por parte de las autoridades correspondientes del municipio de Antigua Guatemala.

Sin embargo, para lograr la consecución de lo anterior, se considera necesario el común acuerdo entre el Gobierno Central, el gobierno municipal y los grupos de interés para alcanzar una mayor satisfacción social, a través de la promoción de fuentes de empleo y la dotación de servicios para mejorar la calidad de vida de la población de estas zonas (Alfie, 2011).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

8 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

General

Evaluar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

Específicos

- Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.
- Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

9 Hipótesis

El crecimiento acelerado del Municipio de Antigua Guatemala ha sobrepasado los límites originales de los polígonos de Conservación, amortiguamiento y áreas verdes, ocasionando que la falta de actualización de estos incida en la modificación significativa e ineficiente de los usos de suelo y en una explotación sin regulación de los recursos naturales, generando a su vez incertidumbre para la toma de decisiones por parte de las autoridades para el ordenamiento territorial a futuro del municipio así como para la conservación del ambiente.

10 Materiales y métodos

Delimitación en tiempo

La investigación se llevará a cabo durante seis meses calendario, del 5 de junio al 30 de noviembre de 2023.

Delimitación espacial

Debido a que la presente propuesta abarca seis meses para su desarrollo. La investigación comprenderá la zona dentro de los polígonos de amortiguamiento y áreas verdes de la región Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, en el Departamento de Sacatepéquez.

1.1 Enfoque de la investigación

Cuantitativo. El enfoque de la presente propuesta de investigación es cuantitativo, por cuanto se usará la recolección de datos para las variables a analizar (cantidad de áreas y usos de suelo) para establecer nuevos límites georreferenciados de los polígonos de conservación, amortiguamiento y áreas verdes de la región Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

1.2 Método

Se utilizará el método analítico para la recolección de la información por medio de trabajo en gabinete y de campo por medio de visitas técnicas y reuniones de trabajo con personas e instituciones relacionadas, mapeo aéreo por medio de drones (vehículos aéreos sin tripulación), en los polígonos descritos en esta propuesta y en las áreas 3 y 5 planteadas por Búcaro & McMannis (1996), sistemas de información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) y unidades de información pública. La recopilación e interpretación de la información se llevará a cabo mediante la utilización del equipo de cómputo solicitado al Fondo de Investigación de la Digi, del proporcionado por la Unidad Avaladora y del existente dentro del equipo de investigación. No se requerirá de opinión favorable de un comité de bioética, equipo extra al ya descrito, ni de instalaciones de laboratorio o similares. A la fecha, se cuenta con el recurso humano capacitado y calificado necesario para realizar la presente propuesta de investigación. Dicho equipo de investigación tiene un carácter multidisciplinario debido a las características de esta propuesta de investigación, abarcando las especialidades de geomática, biología, estudios de suelos, movilidad y ordenamiento territorial.

Recolección de información

Debido a que el enfoque de la presente propuesta de investigación es cuantitativo, las variables de la misma se definirán en términos numéricos tales como cantidad de áreas y usos de suelo. La estrategia para la recolección de la información necesaria se hará por de trabajo en gabinete y de campo, mapeo aéreo por medio de drones en los polígonos descritos en esta propuesta, sistemas de información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), unidades de información pública y reuniones de trabajo con personal del CNAPAG, autoridades municipales e instituciones relacionadas. El universo de los datos a analizar para todas las variables lo constituirán los comprendidos dentro de los polígonos de Conservación, Amortiguamiento y áreas verdes de la región Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

1.3 Técnicas e instrumentos

La estrategia consiste en la recolección de la información necesaria utilizando el procedimiento del método cualitativo para la obtención de los datos correspondientes. Para el caso de todas a variables a analizar, como áreas y usos de suelo, se utilizarán las técnicas de recopilación bibliográfica, trabajo de gabinete y de campo con toma de datos en tiempo real por medio de sobrevuelo de drones de alta tecnología sobre el territorio a estudiar (se adjunta cotización para mapeo aéreo del territorio a estudiar en el Apéndice). Al respecto de la utilización de drones para obtención de información, la justificación para solicitar el gasto en este rublo se realiza con base en que la utilización de esta tecnología permite obtener datos no solamente en tiempo real, como también estos datos obtenidos cuentan con un grado de detalle notablemente mayor que al utilizar fotografías aéreas convencionales. Por ejemplo, la cámara de alta tecnología de un dron permite obtener un tamaño de pixel (cuadro de información) de entre 70 centímetros y 1 metro, en

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

comparación con otras herramientas similares que ofrecen una resolución menos definida de hasta 10 metros. El grado de precisión antes descrito se considera indispensable para la consecución de los objetivos planteados en la presente propuesta de investigación.

1.4 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Las variables a analizar para la presente propuesta de investigación son la cantidad de áreas de los polígonos de Conservación, amortiguamiento y áreas verdes de la región Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, así como los usos de suelo y características geomorfológicas del territorio en consideración. A continuación, en el Cuadro 1, se describen las variables descritas, así como los objetivos a que corresponden, los métodos, técnicas e instrumentos a emplear y la forma en que serán cuantificadas respectivamente.

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Objetivos específicos	Variable	Métodos, técnicas, instrumentos	Medición/cuantificación cualificación
Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.	Pendiente del terreno. Topografía del terreno.	Analítico, toma de datos en tiempo real, mapeo aéreo y sistemas de información geográfica.	Grado de inclinación del terreno (%). Características geomorfológicas del terreno. Áreas totales de polígonos a analizar (verdes, de conservación y amortiguamiento) en metros cuadrados/kilómetros cuadrados/hectáreas
Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala	Áreas de polígonos de áreas verdes, de conservación y amortiguamiento.	Analítico, toma de datos tiempo real, mapeo aéreo y sistemas de información geográfica.	Puntos georreferenciados (coordenadas x, y, z). Áreas susceptibles de rectificación en polígonos de áreas verdes, de conservación y amortiguamiento en metros cuadrados/kilómetros cuadrados/hectáreas.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

1.5 Procesamiento y análisis de la información

La información recabada a través de trabajo de gabinete y de campo será organizada y tabulada para sus correspondientes análisis e interpretaciones, utilizando herramientas tecnológicas como sistemas de información geográfica (GIS) y uso de software especializado (se menciona como ejemplo el Agisoft Metashape). La técnica para el logro de los objetivos propuestos consiste en el análisis comparativo y sistematizado de los datos obtenidos sobre la cantidad de áreas, usos de suelo y características geomorfológicas del territorio a estudiar.

2 Coherencia de la propuesta de investigación

Tabla 2. *Coherencia de la propuesta de investigación*

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos	Resultados
Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.	Analítico, toma de datos en tiempo real, mapeo aéreo y sistemas de información geográfica.	Mapa de usos de suelo actualizado del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala
Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala	Analítico, toma de datos en tiempo real, mapeo aéreo y sistemas de información geográfica.	Modelo digital de superficie con datos georreferenciados del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

11 Aspectos éticos y legales (no aplica)

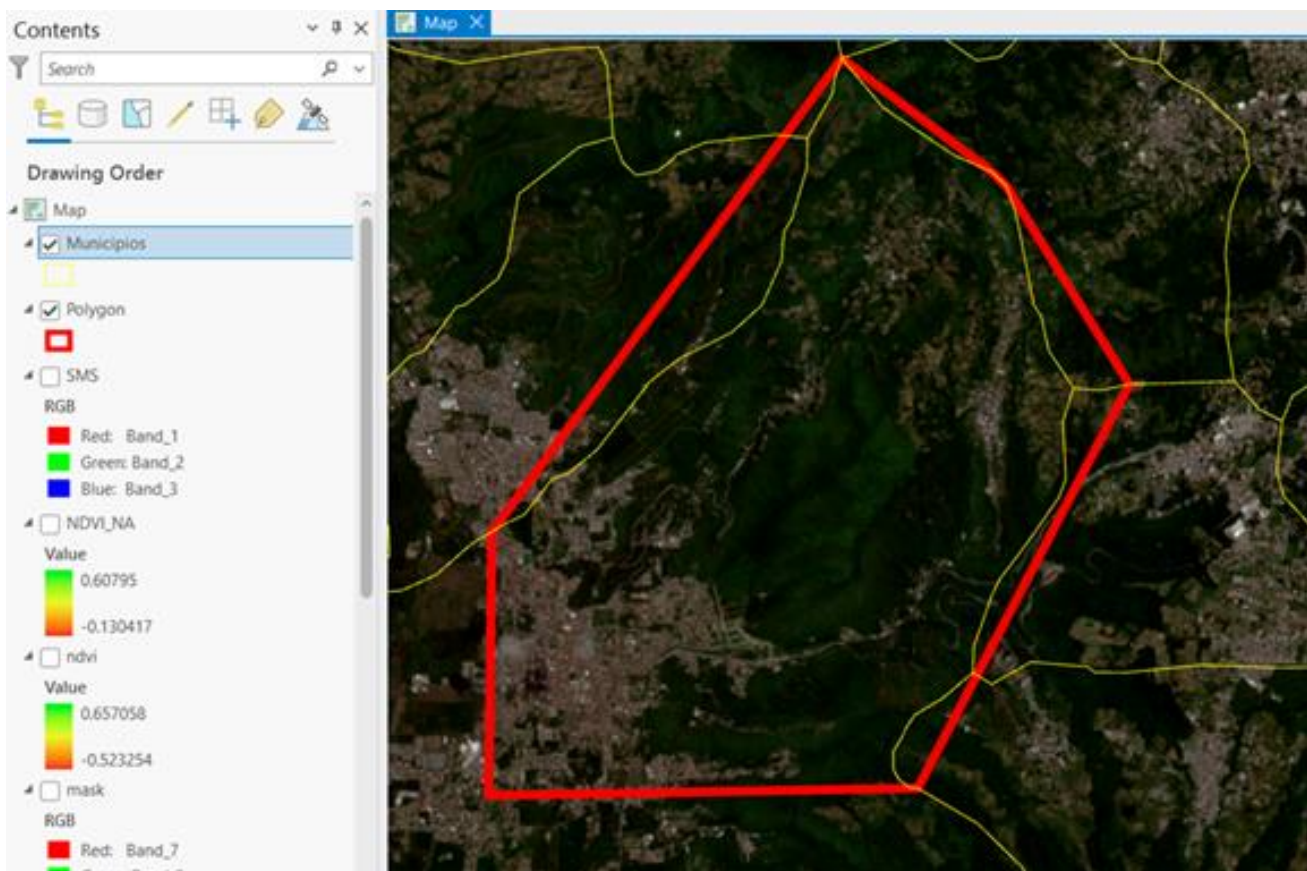
Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

12 Resultados y discusión

12.1 Resultados

- a) **Objetivo específico.** Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

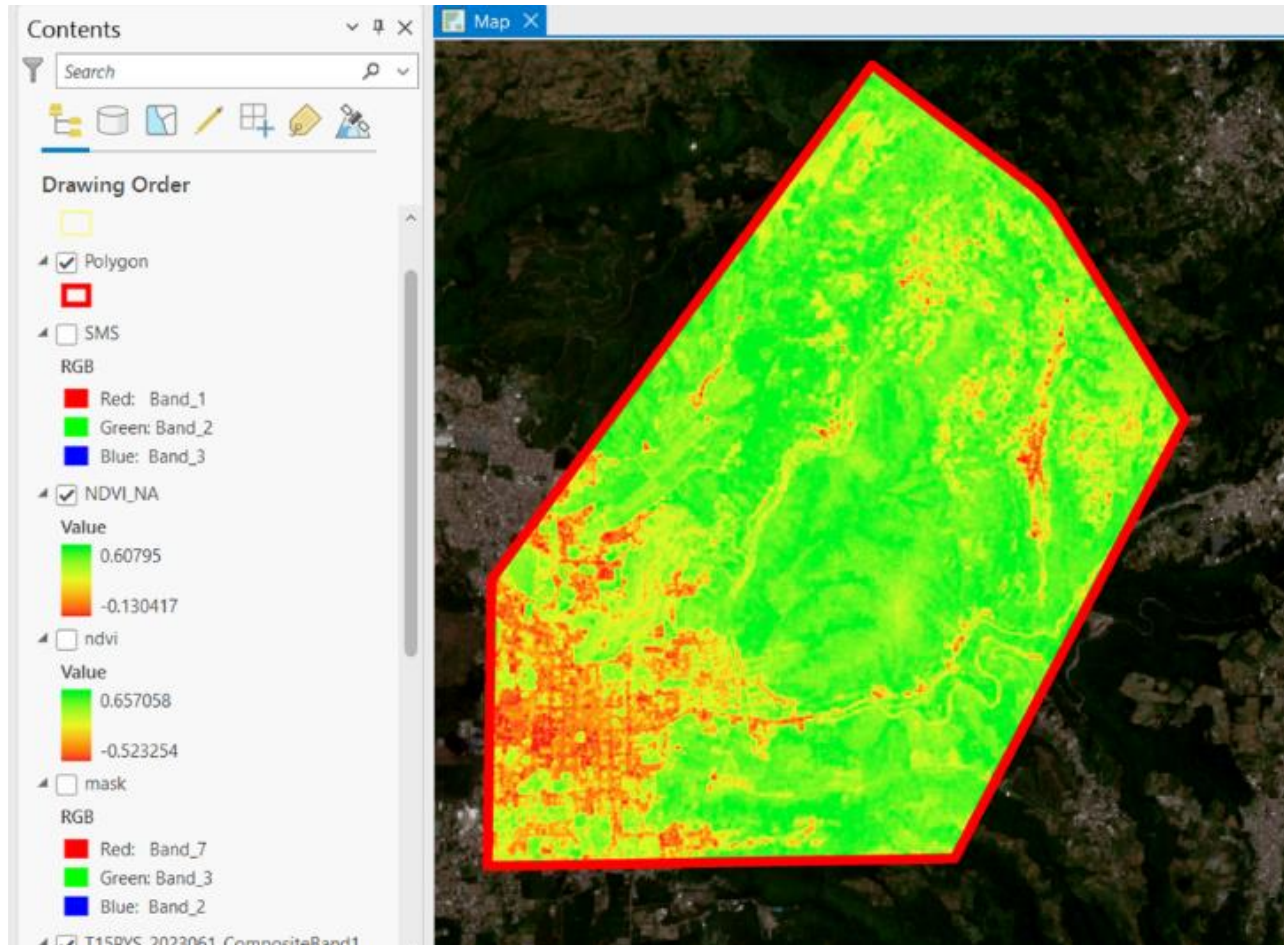
Figura 1. Polígono preliminar del área de estudio a junio de 2023.



Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

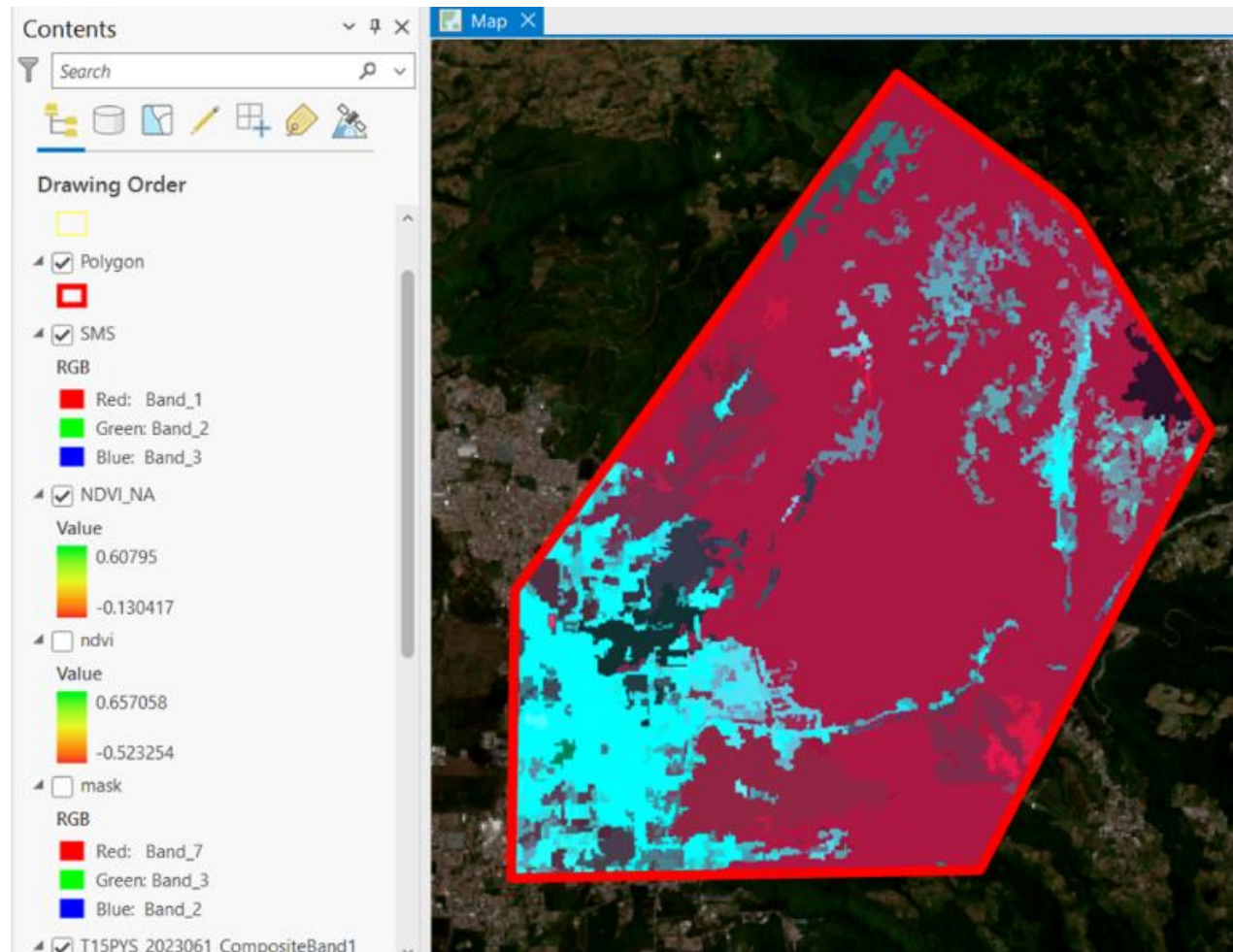
Figura 2. Polígono de índice de vegetación 2023.



Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 3. *Ráster de usos del suelo (modelos de datos espaciales)*

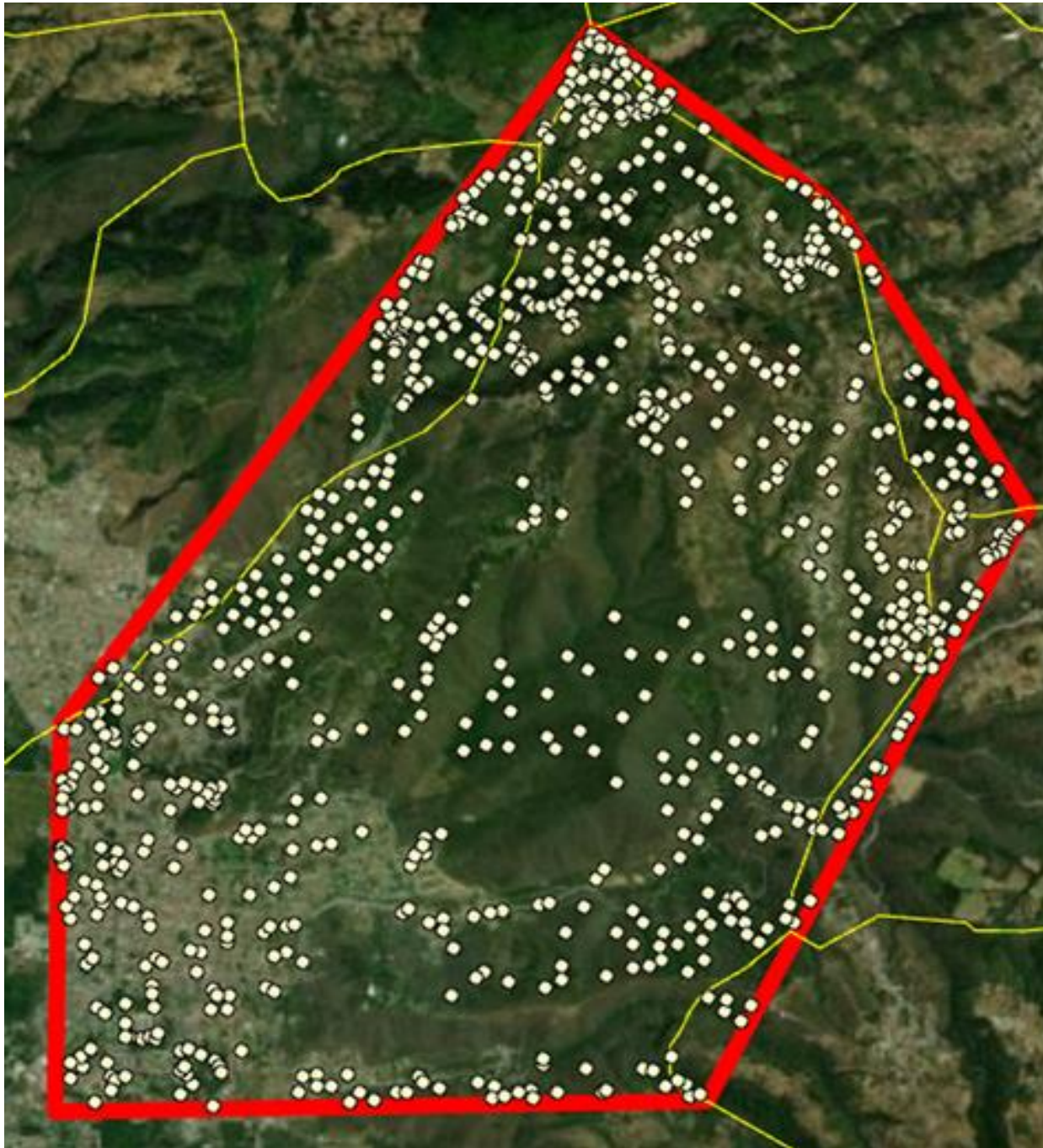


Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 4. Puntos de entrenamiento para utilizar en el algoritmo de clasificación.

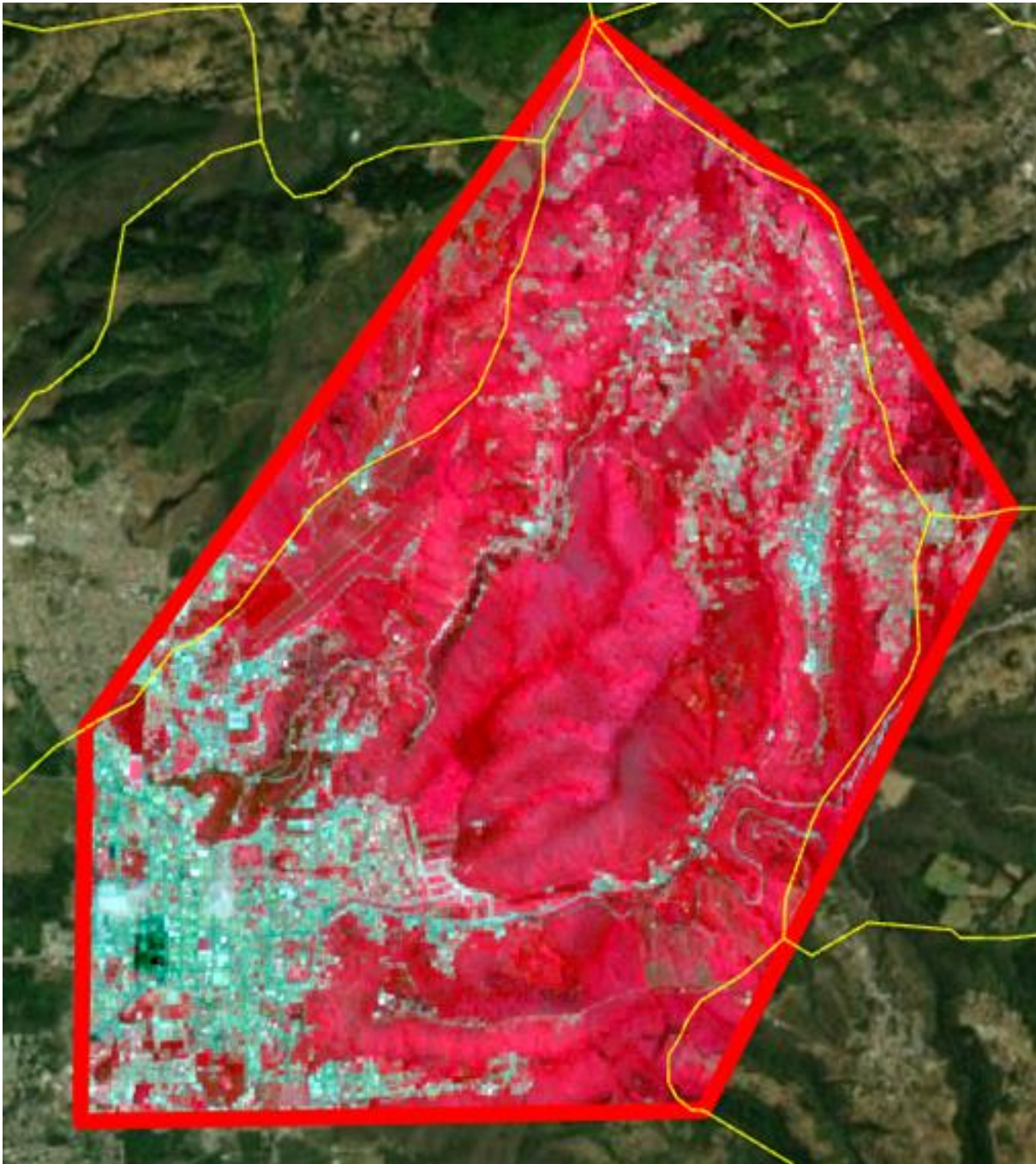


Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 5. *Composición de bandas en falso color (infrarrojo cercano, rojo y verde)*

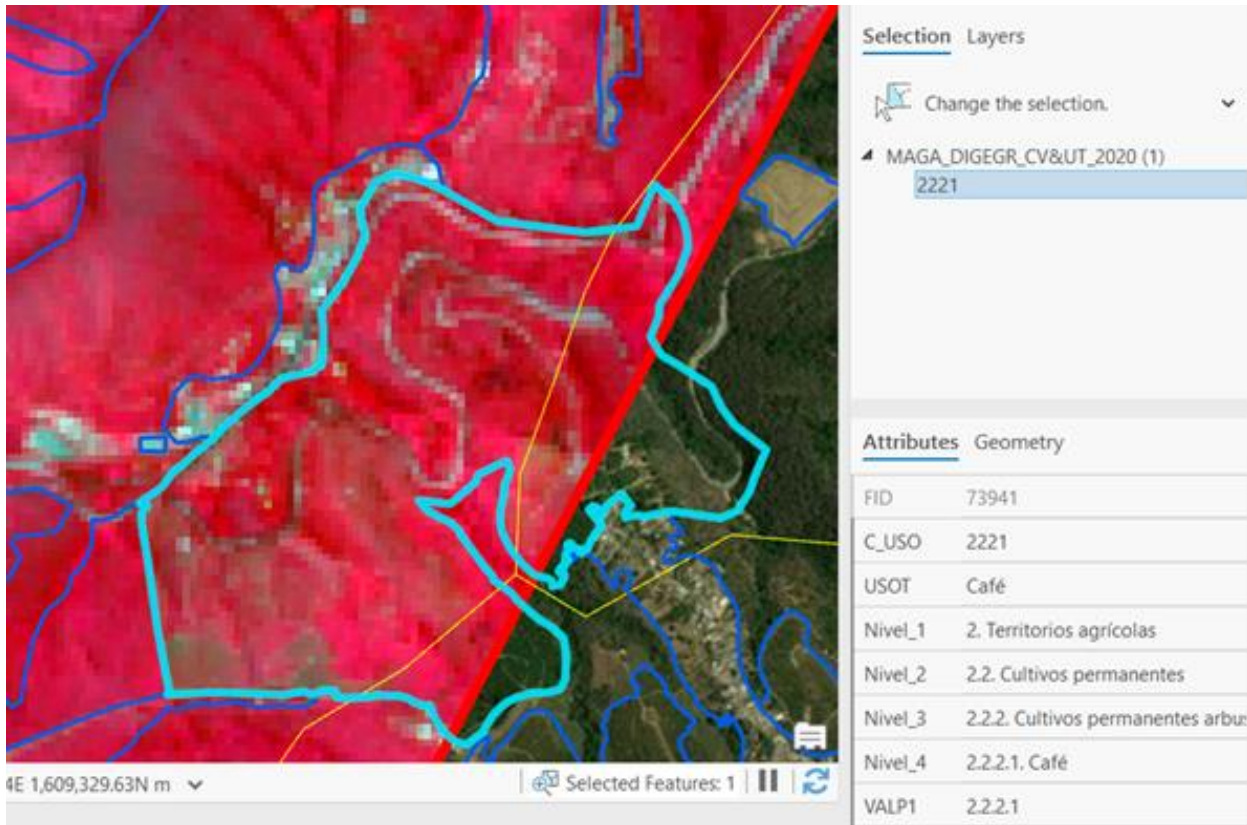


Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 6. Capa del Uso de la tierra del MAGA 2020.

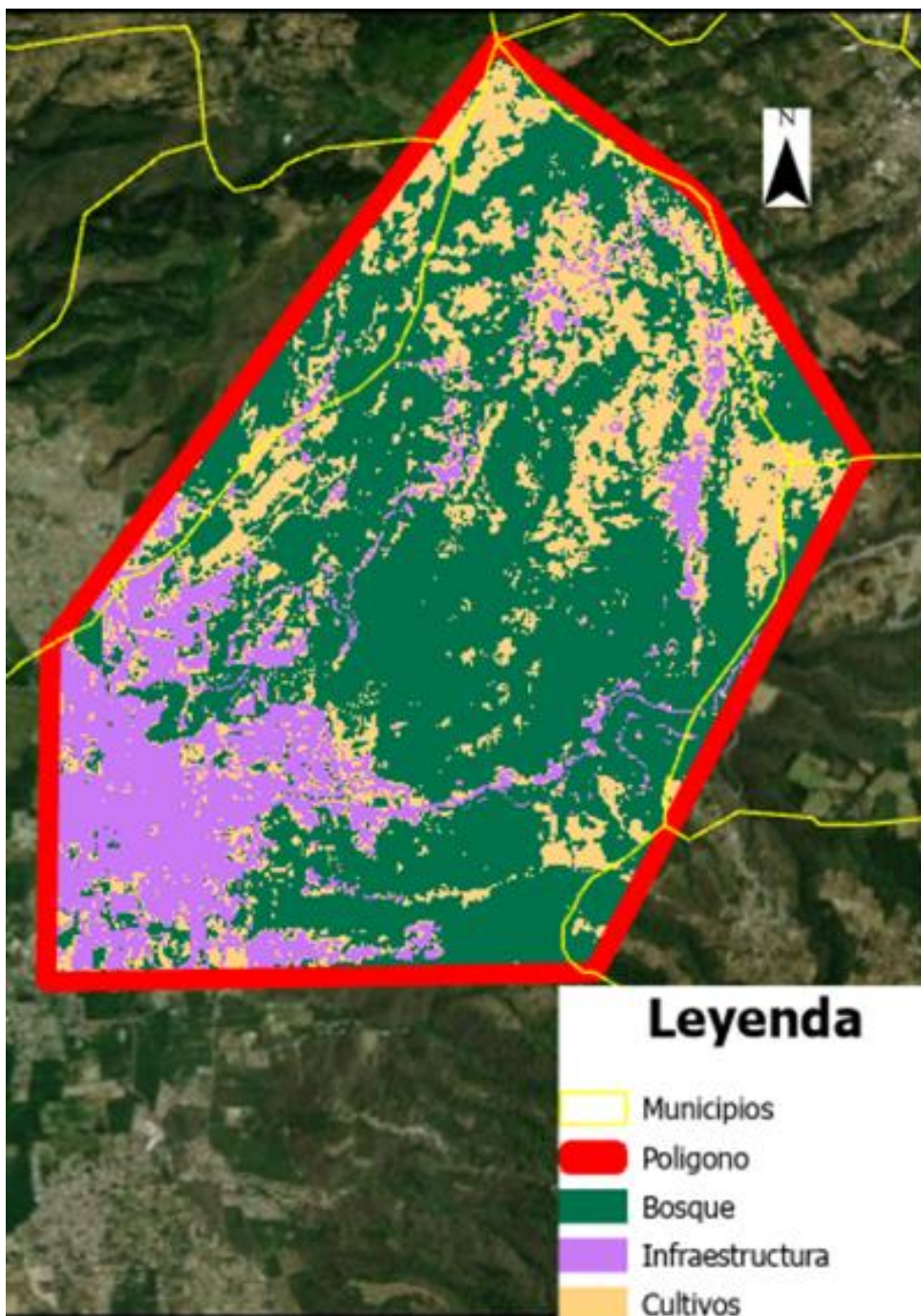


Nota. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023 en el software ArcGIS Pro.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 7. Mapa preliminar de clasificación del uso del suelo para el norte de Antigua Guatemala.



Nota. Elaboración propia con base en ArcGIS Pro e imágenes satelitales 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 8. *Fotografía de la casa patronal de la Finca La Chacra y del área boscosa de la misma continua a la RN-10, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.*



Nota. La fotografía supra, muestra parte de los diversos usos de suelo dentro del polígono de incidencia del área de estudio de la presente investigación, en primer plano se identifica la carretera Ruta Nacional 10 la cual recorre desde el Municipio de San Lucas hacia la Ciudad de Antigua Guatemala. En segundo plano, se observa parte de las edificaciones ubicadas en la finca conocida como Las Chacras, y al fondo de la imagen el área principalmente boscosa de la misma. En esta finca se observa actualmente un proceso de cambio de suelo, consistente en el desarrollo de proyectos urbanísticos (estos se muestran en la siguiente figura), los cuales se consideran puedan incidir de manera negativa en la conservación de los recursos naturales de esta región. Así como el probable aumento de los riesgos, principalmente deslizamientos de suelo, que puedan afectar a estas mismas urbanizaciones e infraestructuras destinadas a otros usos del suelo. Tomada el 10 de agosto de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 9. *Fotografía del área boscosa de la Finca La Chacra e ingreso vehicular a urbanización adyacente a la misma y continua a la RN-10, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.*



Nota. En esta fotografía puede apreciarse a mayor detalle el área boscosa de la finca mencionada anteriormente, localizada dentro del polígono de incidencia de la investigación en desarrollo, en la cual predomina la cobertura de bosque en la cual se están realizando intervenciones y cambios de uso de suelo, tal el caso de desarrollos urbanísticos. Es de resaltar el hecho de que, esta área en particular se encuentra dentro de las secciones del polígono en las cuales se ha registrado un incremento de la temperatura considera alta, tal como se describió en la descripción de las figuras 1 y 2 del presente informe de investigación¹. Tomada el 10 de agosto de 2023.

¹ La inclusión del resto de fotografías tomadas en esta primera visita técnica de trabajo, así como los análisis de las principales observaciones realizadas a las mismas, se incorporarán en los restantes informes de la presente investigación. Ello debido a que se tiene planificado el realizar otras visitas técnicas, al área de estudio, para reforzar estas primeras conclusiones parciales.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 10. *Muestra de suelo de capa vegetal tomada en el sector del Cerro La Cruz, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.*



Nota. Esta muestra se recolectó en el desarrollo turístico localizado en el cerro La Cruz, dentro del polígono de incidencia en el sector occidental del mismo; la misma consiste principalmente en materia orgánica de la flora, además de alguna presencia de fauna como insectos (Figura 8). Es de mencionar el hecho de que, este territorio ha sido intervenido por el ser humano de manera considerable para desarrollar un servicio turístico y de beneficio a los habitantes del lugar, por lo cual esta muestra puede contener especímenes no propios del lugar original; sin embargo, se considera que la misma cuenta con material que puede indicar las principales características de este sector. Muestra tomada el Tomada el 10 de agosto de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 11. *Flora y fauna de la muestra de suelo tomada en el sector del Cerro La Cruz, Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.*



Nota. Muestra tomada el 10 de agosto de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 12. *Fotografía calle principal de la aldea San Juan Gascón, Municipio de Antigua*



Guatemala 2023.

Nota. En la fotografía de la izquierda, puede apreciarse parte de la carretera principal de acceso a la aldea San Juan Gascón, del Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez; contigua a la Ruta Nacional 10 (RN-10) proveniente de San Lucas Sacatepéquez. Asimismo, en la fotografía de la derecha se muestra uno de las varias calles peatonales (callejones) de acceso a las viviendas de la mencionada aldea. En ambas fotografías, puede apreciarse la considerable inclinación del terreno (pendiente) sobre el cual están asentadas las estructuras, así como la cercanía de las mismas a las laderas de los cerros que la rodean; fusionándose prácticamente ambas áreas (urbana y boscosa) en un solo paisaje continuo, sin poder definir la existencia de zonas de amortiguamiento y presentando un considerable riesgo para los vecinos del lugar ante deslizamientos de suelo proveniente de las laderas adyacentes. Tomada el 16 de septiembre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 13. Fotografía del campo de fútbol de la aldea San Juan Gascón y del movimiento de tierras realizado en las cercanías del mismo en 2023.



Nota. En la fotografía de la izquierda, se muestra el área deportiva y recreativa de la aldea San Juan Gascón, Municipio de Antigua Guatemala, en la cual se puede apreciar nuevamente la cercanía con las laderas de los cerros que rodean dicha aldea. Asimismo, la fotografía de la derecha describe el considerable movimiento de tierra y cambio de uso del suelo que se está realizando a un costado de esta área deportiva. Lo que representa de igual manera, un riesgo potencial debido a la pérdida de cobertura boscosa (escases de recursos hídricos) así como en la intervención de la topografía y la consecuente inestabilidad del suelo de esta área (deslizamientos)². Tomada el 16 de septiembre de 2023.

² La inclusión del resto de fotografías tomadas en esta visita técnica de trabajo, así como los análisis de las principales observaciones realizadas a las mismas, se incorporarán en los restantes informes de la presente investigación.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 14. *Fotografía de vista panorámica desde la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, 2023.*



Nota. La fotografía fue tomada desde las instalaciones de un centro turístico y recreativo localizado en Aldea San Mateo Milpas Altas, del municipio de Antigua Guatemala, en ella puede apreciarse el entorno o paisaje que rodea a este lugar poblado en donde se puede observar la cobertura vegetal, compuesta principalmente de bosques y cultivos. De igual manera, pueden apreciarse las pendientes del terreno, características de la mayor parte del área que comprende el polígono de incidencia de la presente investigación. Así mismo, estas instalaciones de financiamiento privado representan un ejemplo de lo que pueden consistir los servicios ambientales (senderismo) que se otorgan a la población, especialmente foránea; pero que a su vez puede representar un riesgo para la región debido a la intervención que se hace al uso del suelo, especialmente si esta no fue objeto de evaluaciones y estudios de impacto ambiental previos. Tomada por Ronald Peláez el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 15. Ubicación del parque central de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.

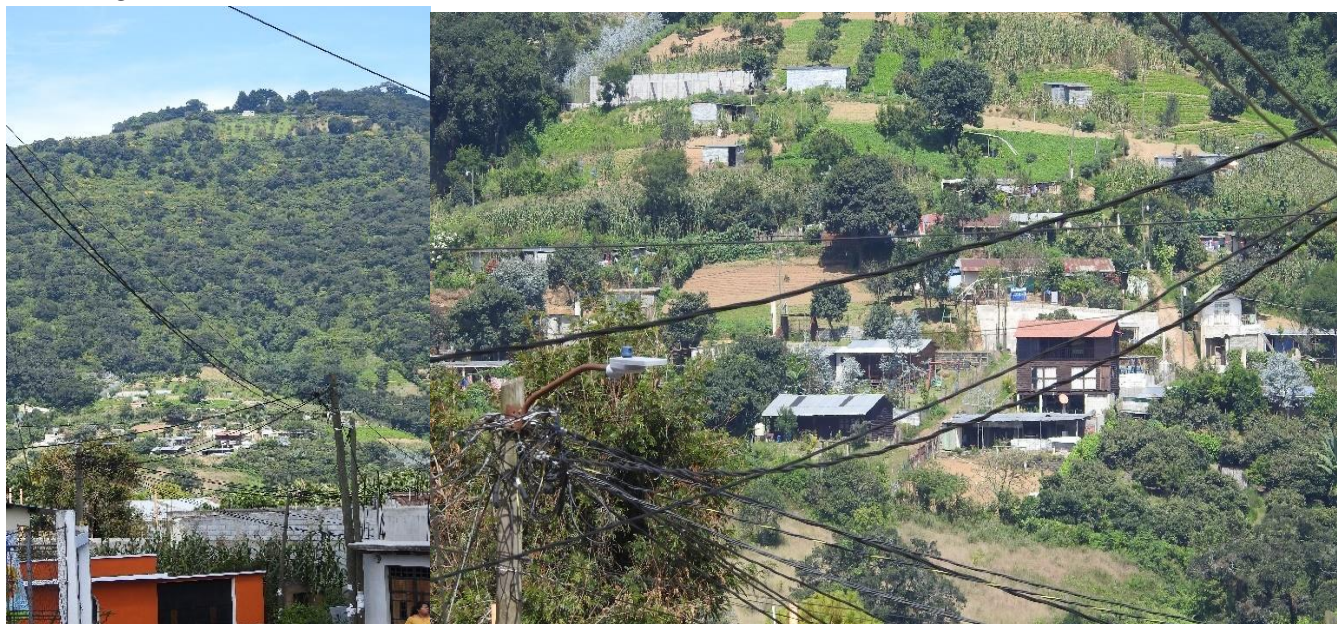


Nota. Fotografía tomada desde el centro del parque de la aldea San Mateo Milpas Altas, en el municipio de Antigua Guatemala, en ella puede apreciarse en primer plano las construcciones existentes en el lugar, principalmente de uso habitacional y comercial. En segundo plano, puede apreciarse parte de lo que son las laderas del cerro colindante a esta aldea, en la misma se puede observar el proceso de cambio de uso de suelo que manifiesta actualmente consistente, principalmente en la remoción de la cobertura boscosa para cultivos; este proceso se describirá con mayor detalle en las fotografías siguientes en el presente informe. Es de resaltar el hecho que, el estudio de este comportamiento del cambio de uso de suelo es parte de los objetivos principales de la presente investigación; la cual tiene por meta el poder determinar qué porcentajes de estos cambios se han presentado en el polígono de incidencia bajo estudio, en la presente investigación. Tomada por Ronald Peláez el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 16. Vista hacia el occidente de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.



Nota. En estas dos fotografías, puede apreciarse el proceso de cambio de uso de suelo descrito en la fotografía anterior. Este sector está localizado al occidente de la aldea San Mateo Milpas Altas, del Municipio de Guatemala. En la fotografía de la izquierda, puede apreciarse de manera general las construcciones existentes en la ladera del cerro colindante a esta aldea. En la fotografía de la derecha, se muestra un mayor acercamiento a dicho sector, en donde pueden apreciarse construcciones de diverso uso tanto para vivienda como de recreación y cultivos. Asimismo, se puede notar la inclinación del terreno sobre cuál están construidas, lo cual nuevamente conlleva a considerar el riesgo de estas estructuras y de la población que ellas habitan. Como se mencionó anteriormente, este proceso de Urbanización y cambio de uso de suelo es parte de los objetivos a desarrollar en la presente investigación. Tomada por Julio Estrada el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 17. *Ubicación de viviendas en laderas de cerros colindantes al Norte de la aldea San Mateo Milpas Altas, Municipio de Antigua Guatemala, 2023.*



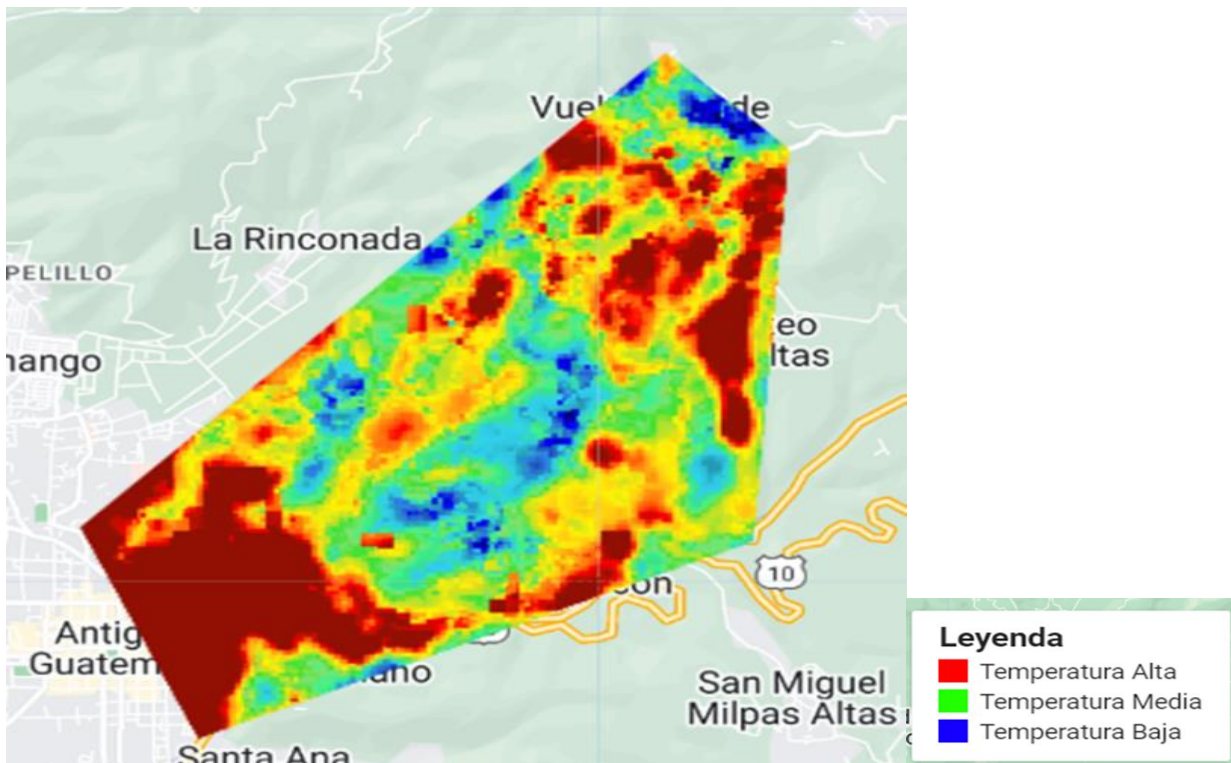
Nota. Esta fotografía ilustra, a un mayor detalle, el proceso de urbanización y cambio de uso de suelo en laderas de montañas y cerros en la mayoría del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, en particular en los alrededores de la aldea San Miguel Milpas Altas; lo que conlleva inevitablemente a la consideración del riesgo de deslizamientos de suelo, que puedan provocar daños para las propiedades y las personas. En la misma puede apreciarse el tipo de vivienda que se ha desarrollado en este sector, el cual contrasta con el de los alrededores en cuanto a la calidad de material, la dispersión de las viviendas y el uso probable (recreación, vacaciones o retiro) que puedan tener. Por lo anterior, se puede constatar que en esta zona existe una diversidad de uso de suelo, y en cuanto al caso de las viviendas esta también presenta diversidad de usos calidad de material y uso de las mismas. Tomada por Julio Estrada el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- b) **Objetivo específico.** Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala

Figura 18. Mapa de temperatura superficial terrestre media para el año 2014 en el polígono de incidencia.

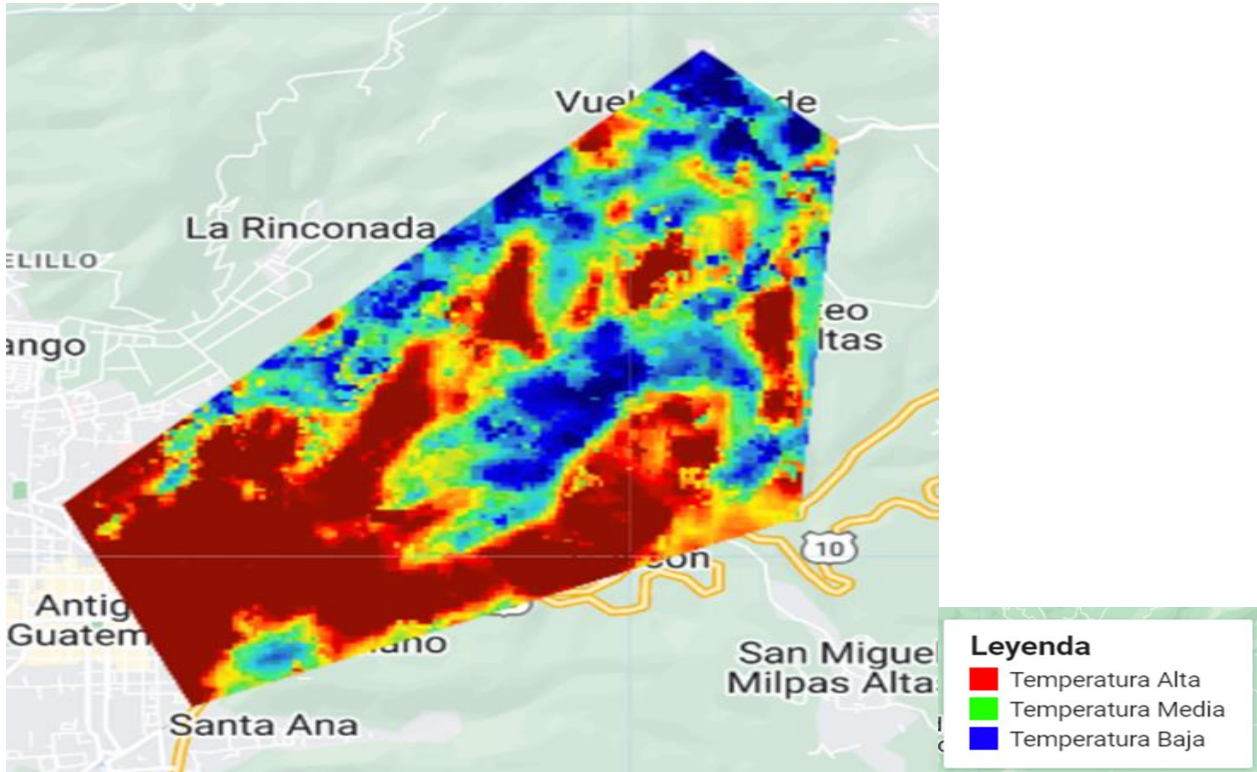


Nota. El mapa supra presenta las temperaturas dentro del polígono de estudio para la presente investigación, el mismo comprende tanto áreas urbanas y suburbanas como áreas boscosas y de matorrales; destacando entre las urbanas la sección Noreste de la Ciudad de Antigua Guatemala (parte inferior izquierda del mapa), así como los poblados suburbanos de las aldeas el Hato (parte superior izquierda del polígono) y San Mateo Milpas Altas (parte superior derecha), ambas pertenecientes al Municipio de Antigua Guatemala. Asimismo, puede observarse en esta gráfica el que las regiones con mayor temperatura corresponden, en su mayoría, a los lugares y centros poblados descritos anteriormente, destacando el casco urbano de la cabecera municipal; en contraparte, las regiones de bosque y matorrales presentan temperaturas medias y bajas respecto a las de temperaturas altas. Elaboración propia con base en Google Earth Engine 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 19. Mapa de temperatura superficial terrestre media para el año 2022 en el polígono de incidencia.

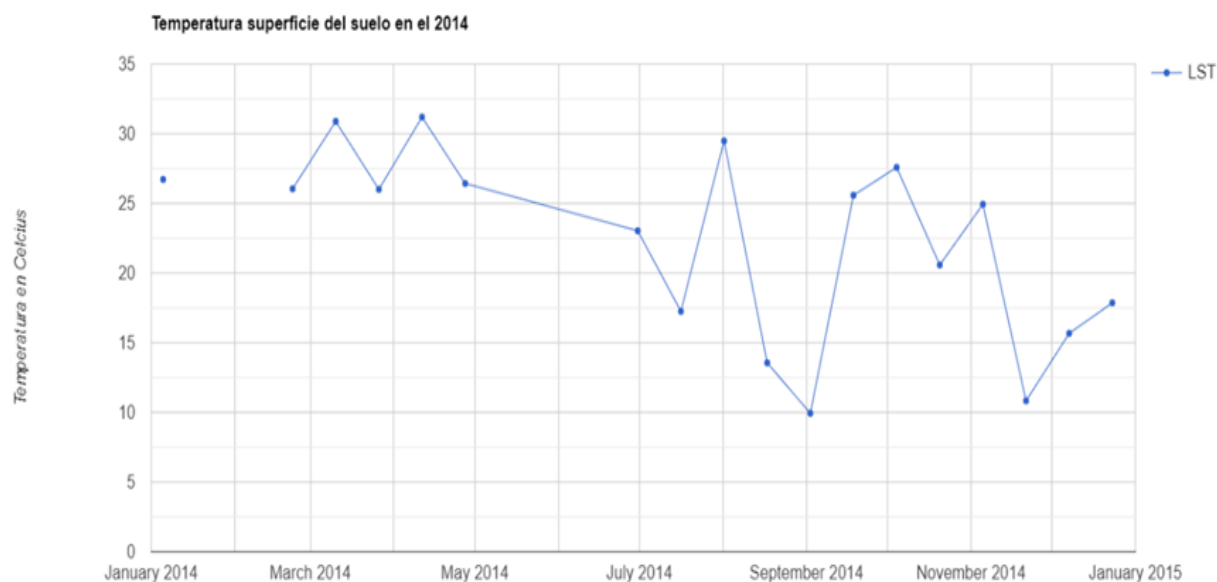


Nota. Este mapa representa, al igual que el anterior, las temperaturas en las mismas regiones y secciones descritos en el la Figura 1; sin embargo, puede apreciarse para este año un incremento notable de las regiones con temperaturas consideradas altas, las cuales corresponden nuevamente en su mayoría a los mismos lugares y centros poblados descritos en la figura anterior. A su vez, se puede observar un aumento de las zonas con temperaturas bajas y una disminución de las correspondientes a temperaturas medias. El comportamiento descrito anteriormente, puede tener relación con el aumento del área urbana y de infraestructura destinada a otros usos del suelo; lo cual forma parte de los objetivos e hipótesis de la presente investigación. Elaboración propia con base en Google Earth Engine 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 20. Gráfica de dispersión de la temperatura superficial terrestre en el polígono de incidencia por mes para el año 2014.

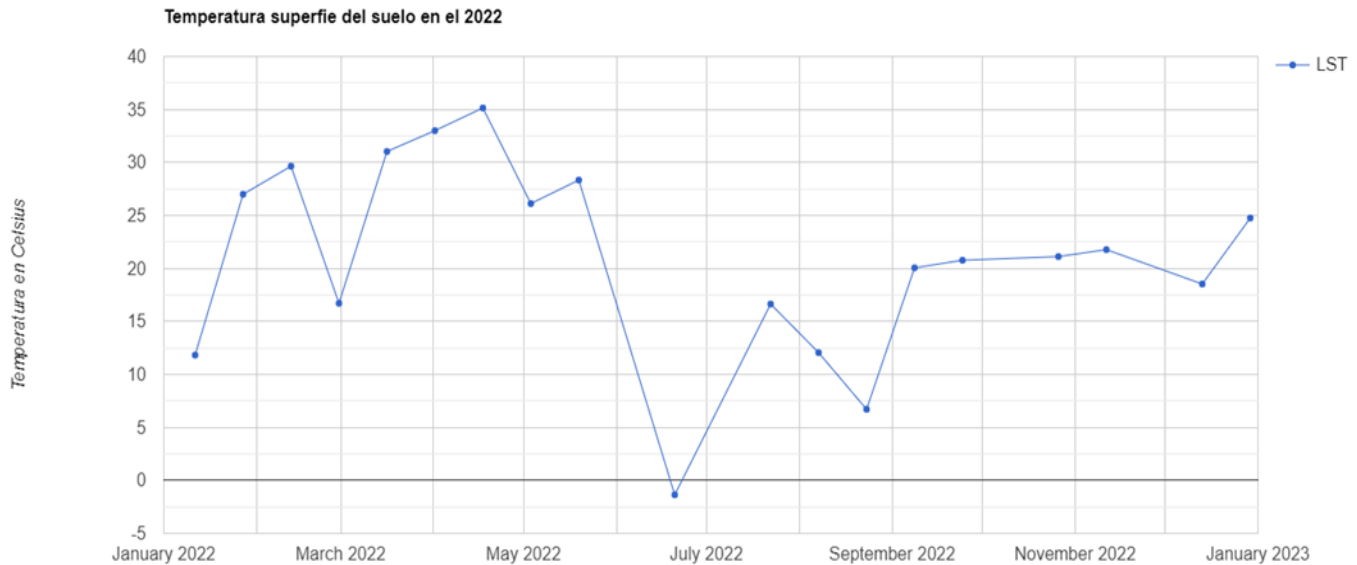


Nota. La gráfica de esta figura muestra la dispersión promedio de la temperatura en la superficie del suelo, del polígono de estudio en la presente investigación, durante el periodo de meses de enero 2014 a enero de 2015. En la misma pueden apreciarse temperaturas consideradas altas entre los meses de marzo a mayo de 2014, aproximadamente 32°C, durante la estación de verano; a su vez, se presentan temperaturas consideradas bajas, de hasta 10°C, en los meses de septiembre y noviembre, correspondientes a la finalización de la época de invierno en el país. Elaboración propia con base en Google Earth Engine 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 21. Gráfica de dispersión de la temperatura superficial terrestre del polígono de incidencia por mes para el año 2022.

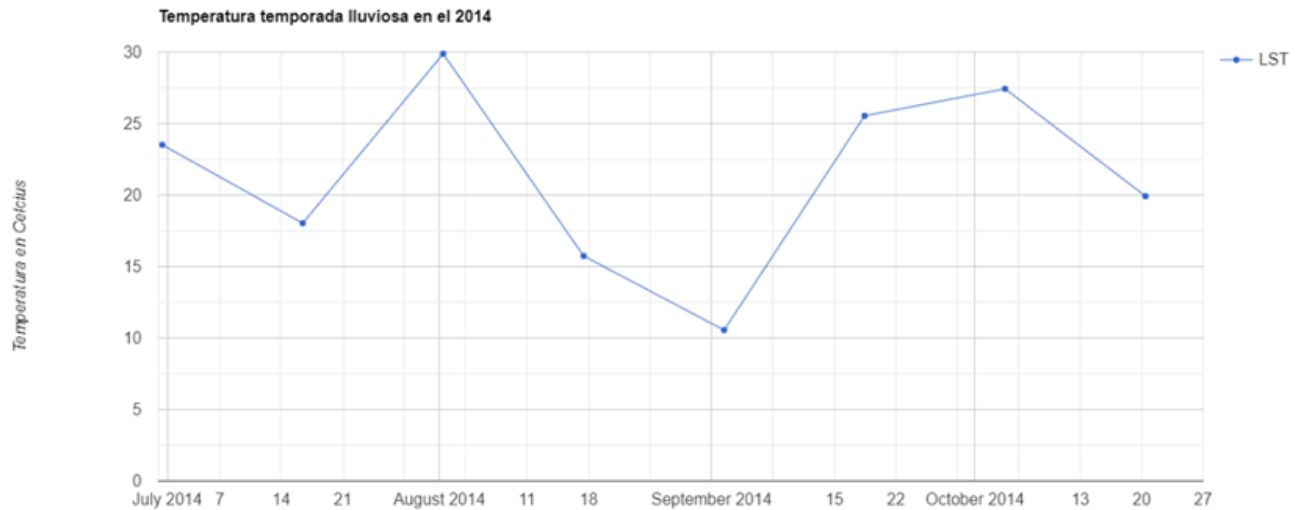


Nota. En esta gráfica, correspondiente al año 2022, se puede observar un notable cambio del comportamiento de las temperaturas a lo largo de los meses del mismo; presentándose temperaturas altas de hasta 35°C en el mes de abril, representando un incremento de hasta 3°C respecto a la anterior gráfica correspondiente al 2014 especialmente en las áreas urbanas y suburbanas del polígono de incidencia. En contraparte, se presentan temperaturas bajas de 6°C e incluso de menos cero grados centígrados en los meses de septiembre y julio, respectivamente. El comportamiento descrito anteriormente, será objeto de análisis en los restantes informes de la presente investigación para análisis si estos considerables cambios en las temperaturas extremas, presentes en el polígono de incidencia, pueden tener algún grado de relación con el incremento de las áreas urbanas y suburbanas del mismo; así como también si estas pueden ser incididas por los efectos del cambio climático en el país y particularmente en este municipio. Elaboración propia con base en Google Earth Engine 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 22. Gráfica de dispersión de temperatura superficial terrestre en el polígono de incidencia en temporada lluviosa año 2014.



Nota. Esta gráfica muestra la dispersión de la temperatura en la temporada considerada de mayor precipitación pluvial en el país, y particularmente en el polígono de incidencia de la presente investigación, correspondiente de julio a octubre para el año 2014. En la misma pueden apreciarse temperaturas consideradas altas en el mes de agosto de 30°C y temperaturas bajas de hasta 10°C a inicios de septiembre. Estas nuevas gráficas de temperatura superficial, se elaboraron como complemento a las gráficas de temperatura promedio anual, presentadas en el informe correspondiente a agosto de 2023, para analizar a mayor detalle el comportamiento de estos cambios especialmente en las temporadas tanto de lluvia como de verano³. Elaboración propia con base en Google Earth Engine 2023.

³ Estas gráficas por temporada se elaboraron para los años 2014, 2018, 2020, 2022 y 2023. La descripción de las mismas, así como la presentación de los principales hallazgos obtenidos, se incluirán en el informe final de la presente investigación.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Principales hallazgos

Objetivo específico. Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.

- En el momento de realizar la clasificación para obtener el uso del suelo, se tendrán errores en la diferenciación de las clases como cultivos, áreas boscosas e infraestructura. Sin embargo, se espera una precisión del 85% en los mapas a entregar en la presente investigación con el empleo de la metodología propuesta en este informe. Al finalizar el trabajo de validación e interpretación, se evaluarán los resultados de esta para cada clase a partir de la información recopilada en la tabla de atributos de los puntos de muestra y así construir la matriz de confusión para el mapa de usos de suelo a realizar. Esta matriz de confusión engloba la exactitud del usuario y del productor, para producir con ello una exactitud global; buscando de esta manera una precisión del 85% para aprobar el mapa a entregar.
- La Figura 1 muestra el polígono preliminar del área de estudio con datos al mes de mayo de 2023, procesadas por medio de la aplicación Google Earth Engine con imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel-2. En la cual se puede apreciar una diferenciación entre la clasificación de las clases del uso del suelo como cultivos, áreas boscosas e infraestructura comprendidos dentro del polígono aquí descrito; con una probable preeminencia del área boscosa por sobre las otras clases. Asimismo, se puede mencionar el que la imagen está a color natural para su fotointerpretación que cuenta con los elementos importantes para diferenciar cada clase:
 - Bosques: textura gruesa por la acumulación de las copas de los árboles y color verde oscuro.
 - Cultivos: textura lisa por la uniformidad de la vegetación y con formas geométricas como rectángulos o cuadrados.
 - Infraestructura urbana: se ven por las formas cuadradas y uniformes que suelen estar agrupados, al igual que las carreteras que tienen una textura plana y tonos claros.
- La Figura 2 muestra a detalle del área de estudio con datos al mes de mayo de 2023, procesadas por medio de la aplicación Google Earth Engine con imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel-2. En la misma se puede visualizar a mayor detalle la clase de área boscosa, así como la de infraestructura para la fecha antes indicada. Asimismo, se puede mencionar el que en esta imagen los píxeles tienen un tamaño de 10 m, haciendo que sea más sencilla la identificación de elementos en la fotointerpretación en color natural; sin embargo, se prevé que se tendrá una mezcla de píxeles al momento de realizar la caracterización de clase por el número de elementos que se encuentran por píxel.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Debido a la resolución de 20 m de los ráster proporcionados por los satélites Sentinel-2, se prevén dificultades en la separación de clases entre bosque y cultivos, ya que se encuentran píxeles mixtos (diferentes tipos de cobertura dentro de una celda).
- Por lo anterior, se utilizará la capa de Uso de la tierra del año 2020 del MAGA, para clasificar cultivos y bosque en áreas en donde sea difícil su diferenciación. Asimismo, con esta referencia se tomarán en cuenta las plantaciones de coníferas como bosque.
- Será importante realizar la limpieza de datos, para obtener una mayor precisión en cuanto a las tres clases a analizar en el presente estudio. Sin embargo, con los productos anteriores, se tendrá en consideración el añadir una cuarta clase, siendo esta la de vegetación arbustiva baja (matorrales).
- Los cultivos de café son de los más significativos dentro del polígono y, a su vez, los más complicados de diferenciar. Ello debido a que, para su cultivo, se emplean a su vez árboles de sombra en la mayoría de casos; por lo que utilizará de igual manera la capa base de Uso de tierra del MAGA.
- En la Figura 1 se presenta el segundo polígono a detalle del área de estudio con base con los polígonos preliminares de la misma obtenidos en el mes de junio, procesados por medio de la aplicación Google Earth Engine con imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel-2. En el mismo puede apreciarse una mayor amplitud del área de cada una de las clases a considerar, ya que se incrementó al área tomando en cuenta el límite Norte municipal del Municipio de Antigua Guatemala, con lo cual se puede observar el que a partir de una imagen en color natural se determine las clases con las que se trabajará en la clasificación, siendo estas: bosque, infraestructura, cultivos y suelo desnudo.
- Como parte de los polígonos preliminares para la clasificación de usos de suelo, el polígono de índice de vegetación 2023 (Figura 2) representa el grado de salud de la vegetación presente, en donde puede observarse la diferenciación entre las clases de infraestructura y bosque. A su vez, en lo que respecta a los resultados, el color anaranjado muestra el área de infraestructura donde no existe vegetación en sí, mientras que el amarillo tiene vegetación menos saludable a los alrededores de las áreas de infraestructura esto debido a que son pedazos de bosques urbanos, parques y cultivos, y por último el color verde mostrando vegetación saludable en las partes altas donde no ha existido deforestación por uso agrícola o aumento de infraestructura.
- La Figura 3, muestra una imagen con segmentos espectralmente homogéneos, esto debido a la similitud de formas que tienen los elementos dentro del polígono y en el cual se puede apreciar una clasificación previa a mayor detalle sobre las clases de suelo identificadas; destacando que las áreas de tonos azules se derivan de las áreas de infraestructura, las áreas verdes oscuro de cultivos y las de tonos rojizos de área boscosa.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Al respecto de los puntos de entrenamiento para un algoritmo de clasificación la Figura 4 muestra, con una mayor definición, los puntos de muestreo que se utilizaron por cada clase siendo bosque, infraestructura urbana y cultivos, tomando en cuenta todas las áreas dentro del polígono para tener mayor cantidad de datos a la hora de entrenar la herramienta de clasificación. Así como se puede ver la imagen de alta resolución que se tomó de referencia para realizar la fotointerpretación en la toma de muestras.
 - La Figura 5 muestra la composición de bandas en falso color, entre ellos el infrarrojo cercano, el rojo y el verde, mostrando que es más factible en discriminar los elementos de cada clase según su reflectancia en cada banda; cada color representa un elemento, como el rojo oscuro para bosques, los verdes en cultivos y por último los blancos y celestes como infraestructura urbana.
 - Asimismo, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), proporciona de manera gratuita un mapa de uso de la tierra con datos del año 2020 (Figura 6), con el cual se puede obtener lo siguiente: áreas de bosques mixtos, arbustos bajos, infraestructura urbana, tipos de cultivos dentro del municipio como el café, hortalizas y granos básicos.
 - Finalmente, la Figura 7 muestra el primer borrador de mapa de usos de suelo con base en los polígonos preliminares descritos anteriormente. En donde puede apreciarse con una mayor claridad las tres clases de usos de suelo detectados a través de la metodología empleada y descrita con anterioridad: a) áreas boscosas; b) infraestructura y c) cultivos. Así como los límites municipales que definen el territorio bajo estudio, en donde puede identificarse una primacía del área boscosa en el mismo, pero con una notable presencia de infraestructura urbana (en su mayoría vivienda y comercio). A su vez, en este mapa puede apreciarse que en el norte existen parches de áreas de infraestructura y cultivos dentro de zonas boscosas que en un futuro tendrán una expansión. Sin embargo, estos resultados serán corroborados con las siguientes versiones a mayor detalle de este mapa de usos de suelo.
-
- Durante la realización de la presente visita técnica de trabajo, se ha podido constatar el proceso de urbanización que se manifiesta en el sector Noroeste del municipio de Antigua Guatemala, particularmente en los lugares poblados principales siendo ellos: a) el casco de la cabecera municipal; b) la aldea el Hato y la aldea San Miguel Milpas Altas.
 - Este proceso de cambio del uso de suelo, especialmente para proyectos habitacionales y de cultivos, se manifiesta en la parte inferior de la ladera de los cerros y montañas que rodean al Municipio de Antigua Guatemala, lo cual



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

conlleva un riesgo de deslizamiento de suelo que puedan afectar a la población que habita en estos lugares.

- Se puede comprobar la utilidad de realizar estos levantamientos fotogramétricos a través del uso de equipo tal, tal el caso de drones; los cuales proporcionan un mayor detalle del que se puede obtener a través de otros medios electrónicos. Sin embargo, el alto costo de la contratación de estos servicios para futuras investigaciones de este tipo debe conllevar el análisis y evaluación sobre si los productos provenientes de estos serán realmente útiles para la consecución de los objetivos planteados.

Objetivo específico. Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala

- Con base en las figuras 1 y 2, la temperatura superficial terrestre en la temporada seca del año 2014 para el año 2022 ha aumentado alrededor de 3°C.
- Al observar el mapa de temperaturas de ambos años, se ve el incremento de la isla de calor en el área con infraestructura durante un período de 8 años. Se argumenta en la presente investigación que este aumento se encuentra relacionado con el crecimiento de la infraestructura en la Ciudad de Antigua Guatemala.
- Se considera importante el determinar si la salud de la vegetación, en el área boscosa del polígono de incidencia, ha experimentado un deterioro debido a las variaciones en la temperatura del suelo que se han registrado; dado que incluso en estas áreas se han constatado temperaturas elevadas.
- La **Figura 1** y **Figura 2** muestra la temperatura superficial del suelo en el año 2014 y el 2022, en ambos se refleja el color rojo oscuro el cual representa una temperatura alta y, en su contraste, el azul representa temperaturas frías. Las temperaturas altas se ven en las áreas donde existe infraestructura urbana, ello debido principalmente a que el material utilizado en su mayoría para la construcción es blanco, por lo que tendrá un mayor reflejo de la radiación. Las temperaturas bajas se ven en las áreas donde existe bosque o áreas verdes, esto ya que estos emiten sombra y esta evita que el material de infraestructura refleje la radiación.
- Tal como se mencionó anteriormente, tomando en cuenta la importancia de las áreas verdes para mitigar las islas de calor, se puede observar en la **Figura 2** que la mancha roja aumentó considerablemente en un período de 8 años. Ello debido a que, medida que aumenta la población que se traslada a un área urbana, tanto las carreteras como las casas y edificios sustituyen la vegetación.

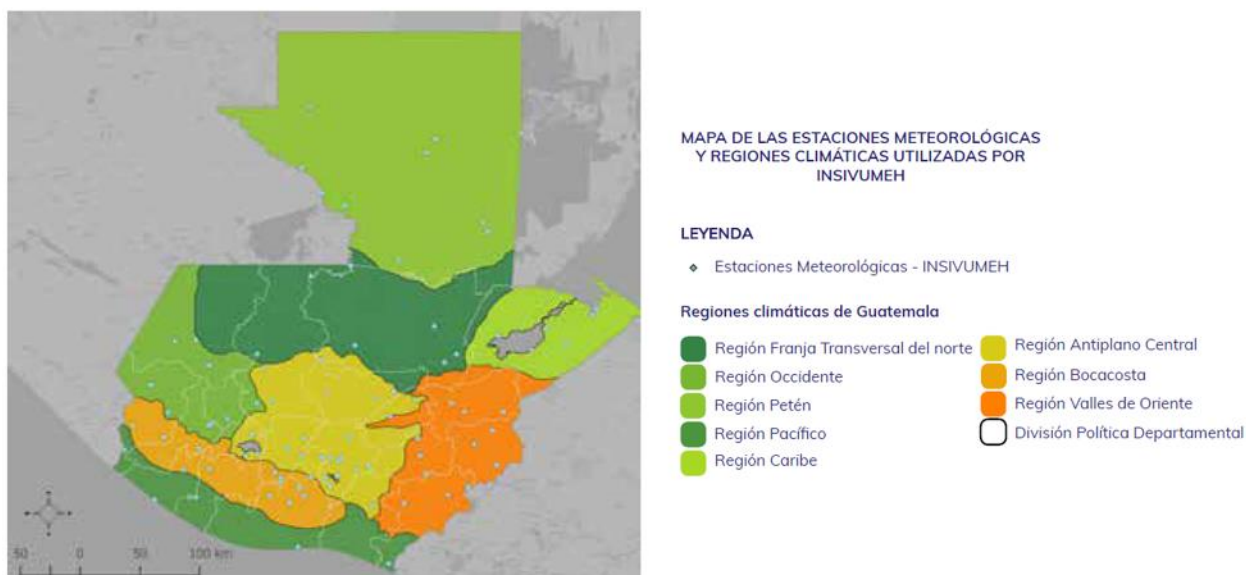
Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Descripción climática de la República de Guatemala

El clima en Guatemala está asociado a la influencia de los regímenes de vientos del Noreste, con aportes de humedad provenientes del mar Caribe y el golfo de México y los regímenes de viento del Suroeste, con aportes de humedad del océano Pacífico. Estos regímenes de viento, junto a otros factores climáticos, definen los periodos normales de lluvia; así como las olas de frío y de calor del país. Dentro de las grandes zonas climáticas de la tierra, Guatemala se encuentra ubicada en la franja de los climas cálidos, con predominio de temperaturas elevadas y clima tropical estacional (Herrera, 2017).

Una de las primeras clasificaciones climáticas de Guatemala fue la realizada por Ricardo Obiols del Cid en 1966, quien utilizó la metodología de Charles Warren Thornthwaite. Posteriormente, el INSIVUMEH generó el documento *Aspectos Generales del Clima*, basado también en el sistema de clasificación de Thornthwaite; en el cual se realizó un análisis del tipo de distribución de la humedad y variación de la temperatura (**Figura 11**).

Figura 23. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el INSIVUMEH.



Nota. En esta ilustración se muestran las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH (rombos celestes). A partir de ello, se pueden establecer que las cuatro estaciones que normalmente se delimitan en el hemisferio Norte, no se marcan en Guatemala, sino que se delimitan dos épocas particulares; siendo estas la época lluviosa (mayo a octubre) y la época seca (noviembre a abril). Lo anterior, obedece al ángulo de la Tierra respecto al Sol y su movimiento alrededor de este. Adaptado del INSIVUMEH (2018) como ha sido citado en Alfaro (2019).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

12.2 Discusión de resultados

- a) **Objetivo específico.** Determinar los usos actuales de suelo del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala.
- Dentro de este objetivo específico “determinar los usos actuales del suelo”, se analizaron imágenes satelitales para la elaboración de polígonos digitales del área bajo estudio en la presente investigación para una primera aproximación a las diversas clasificaciones del suelo en la misma y como un ejemplo del método de resolución que se plantea.
 - Como se describió anteriormente, si bien es de esperar errores en la clasificación de los usos del suelo, la precisión que se espera obtener con la utilización de la metodología expuesta da un margen aceptable para la elaboración de los productos a obtener. En donde, según Olofsson et al. (2014), la precisión en la estimación de las áreas es fundamental para garantizar la integridad de la información sobre el cambio de tierras.
 - Al respecto, para la validación del mapa de uso del suelo se utilizará la siguiente metodología: a) selección de la muestra para la validación; b) validación de los puntos; c) cálculo de exactitud del productor para cada una de las clases del mapa. La cual es congruente con las recomendaciones para la elaboración de mapas de cambios de usos de suelo en cuanto al diseño de muestreo, diseño de respuesta y análisis buscando la precisión en la estimación de cada una de las áreas en relación con las limitaciones prácticas y las fuentes de datos de referencia, las cuales deben proporcionar la suficiente representación espacial y temporal para una precisión aceptable en cada unidad de muestra (Olofsson et al., 2014).
 - Al respecto del alto grado de los cultivos de café en el área de estudio, descrito en el numeral anterior, el Plan Regulador de Antigua Guatemala, establece que una de las características particulares de Antigua Guatemala lo constituye el paisaje natural que la rodea, compuesto por cerros, volcanes y bosques y cafetos (1973). De igual manera, Búcaro & McMannis (1996), describen que casi la mitad de este territorio cuenta con áreas de reserva y parques nacionales como en el Cerro El Cucurucho, la Finca Florencia, Astillero El Hato y cafetales con potencial de integración como espacios verdes y cinturones ecológicos para la región.
 - Sin embargo, las dinámicas de crecimiento poblacional del municipio han promocionado la construcción de proyectos urbanísticos y habitacionales en sectores de estas fincas (Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2007). Por lo que, Propin Frejomil y colaboradores (2012), consideran recomendable la promoción del agroturismo en torno a las plantaciones de café, haciendas o rutas de recorrido existentes, que pueden constituir puntos centrales para este tipo de actividad turística.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- b) Objetivo específico.** Estimar el impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala
- Islas de calor urbano
 - Al respecto del efecto conocido como islas de calor urbano, se considera que este representa las temperaturas relativamente más altas que se encuentran en las áreas urbanas en comparación con las áreas rurales circundantes. Ello debido a proporciones más altas de superficies impermeables y la liberación de calor residual de los vehículos y los sistemas de calefacción y refrigeración (Cepal, 2013).
 - Este efecto se observa en las áreas urbanas y suburbanas, dentro del polígono de incidencia del territorio bajo estudio en la presente investigación. Por lo cual se considera que el mismo entra en congruencia con la estipulado por el documento de la Cepal, el cual describe que las superficies pavimentadas y las estructuras construidas tienden a absorber la radiación de onda corta del sol y liberan radiación de onda larga, después de un retraso de algunas horas. El mismo, estima que tanto la temperatura de la superficie terrestre dentro de las áreas urbanas en grados Celsius (promedio máximo durante el día de verano y promedio mínimo de verano durante la noche), así como la diferencia entre esas temperaturas y las temperaturas en las áreas rurales circundantes, definen zonas de amortiguamiento de aproximadamente 10 km alrededor de la extensión urbana (Cepal, 2013).
 - Referencias sobre ecología urbana
 - A continuación, se describe parte de las referencias recabadas en el presente mes, entorno a la aplicación de los principios de la ecología en las áreas urbanas, suburbanas y zonas de amortiguamiento. Este acopio de información será objeto de análisis y reflexiones en los subsecuentes informes de la presente investigación, como parte de la consecución de los objetivos de la misma.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Cambio climático Global y sus efectos en Guatemala

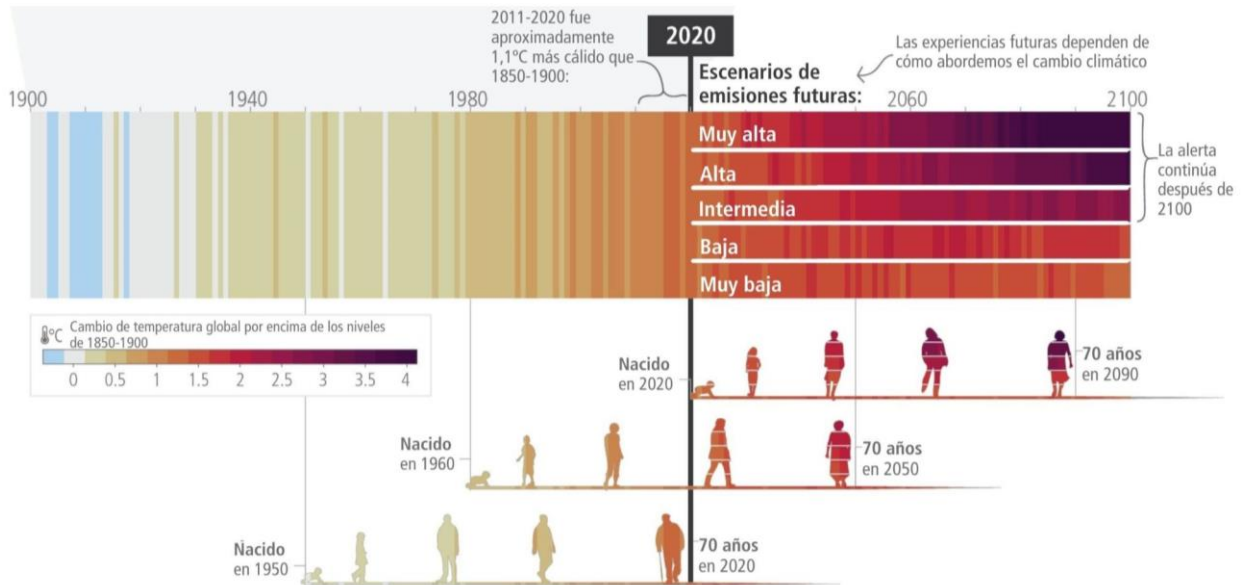
El más reciente reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) afirma con un alto grado de confianza que las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI- (como el bióxido de carbono CO₂, el metano CH₄, el óxido nitroso N₂O y el vapor de agua), han causado el calentamiento global (IPCC, 2023), con un aumento de la temperatura de la superficie global que alcanzó entre 2011-2020 1,1 °C por encima de los valores promedio del período 1850-1900 (**Figura 12**).

Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando, con contribuciones históricas y actuales desiguales derivadas del uso insostenible de la energía, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra, los estilos de vida y las modalidades de consumo y producción en las distintas regiones, entre los países y dentro de ellos y entre las personas. Como consecuencia de ello, se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la biósfera. El *cambio climático antropogénico* ya está afectando a muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Esto ha dado lugar a efectos adversos generalizados y a pérdidas y daños relacionados con la naturaleza y las personas. Las comunidades vulnerables, que históricamente son las que menos han contribuido al cambio climático actual, se ven afectadas de manera desproporcionada.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 24. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el INSIVUMEH.



Este gráfico es una adaptación al castellano del publicado originalmente en el informe de síntesis del Sexto Ciclo de Evaluación del IPCC. Créditos: climatica.lamarea.com.

Nota. En esta ilustración se aprecian los cambios observados (1900-2020) y proyectados (2021-2100) en la temperatura de la superficie global (en relación con 1850-1900), que están vinculados a cambios en las condiciones e impactos climáticos, ilustran cómo el clima ya ha cambiado y cambiará a lo largo de la vida de tres generaciones representativas (nacidas en 1950, 1980 y 2020). Se muestran las proyecciones futuras (2021-2100) de cambios en la temperatura de la superficie global para escenarios de emisiones de GEI muy bajas (SSP1-1.9), bajas (SSP1-2.6), intermedias (SSP2-4.5), altas (SSP3-7.0) y muy altas (SSP5-8.5). Los cambios en las temperaturas anuales de la superficie global se presentan como "franjas climáticas", con proyecciones futuras que muestran las tendencias a largo plazo causadas por el ser humano y la modulación continua por la variabilidad natural (representada aquí utilizando los niveles observados de variabilidad natural pasada). Los colores de los iconos generacionales corresponden a las franjas de temperatura de la superficie global de cada año, con segmentos en los iconos futuros que diferencian las posibles experiencias futuras. Tomado de Climatica.lamarea.com con base en IPCC (2023).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

13 Conclusiones

La región presenta diversos usos de suelo dentro del polígono de incidencia del área de estudio de la presente investigación. En estas fincas se observa actualmente un proceso de cambio de suelo, consistente en el desarrollo de proyectos urbanísticos los cuales se consideran puedan incidir de manera negativa en la conservación de los recursos naturales de esta región. Así como el probable aumento de los riesgos, principalmente deslizamientos de suelo, que puedan afectar a estas mismas urbanizaciones e infraestructuras destinadas a otros usos del suelo.

En estas fincas, en la que en la mayoría predomina la cobertura de bosque, se están realizando intervenciones y cambios de uso de suelo, tal el caso de desarrollos urbanísticos. Es de resaltar el hecho de que, en algunas de estas áreas se encuentra dentro de las secciones del polígono en las cuales se ha registrado un incremento de la temperatura considera alta.

En algunos lugares poblados dentro del polígono de incidencia, se puede apreciarse la considerable inclinación del terreno (pendiente) sobre el cual están asentadas las estructuras, así como la cercanía de las mismas a las laderas de los cerros que la rodean; fusionándose prácticamente ambas áreas (urbana y boscosa) en un solo paisaje continuo, sin poder definir la existencia de zonas de amortiguamiento y presentando un considerable riesgo para los vecinos del lugar ante deslizamientos de suelo proveniente de las laderas adyacentes.

Particularmente en la aldea San Juan Gascón, Municipio de Antigua Guatemala, en la cual se puede apreciar nuevamente la cercanía con las laderas de los cerros que rodean dicha aldea. Así como el considerable movimiento de tierra y cambio de uso del suelo que se está realizando a un costado de estas estructuras. Lo que representa de igual manera, un riesgo potencial debido a la pérdida de cobertura boscosa (escases de recursos hídricos) así como en la intervención de la topografía y la consecuente inestabilidad del suelo de esta área (deslizamientos).

En contraparte, en sectores como el centro turístico y recreativo localizado en Aldea San Mateo Milpas Altas, del municipio de Antigua Guatemala, en ella puede apreciarse el entorno o paisaje que rodea a este lugar poblado en donde se puede observar la cobertura vegetal, compuesta principalmente de bosques y cultivos. De igual manera, pueden apreciarse las pendientes del terreno, características de la mayor parte del área que comprende el polígono de incidencia de la presente investigación. Así mismo, estas instalaciones de financiamiento privado representan un ejemplo de lo que pueden consistir los servicios ambientales (senderismo) que se otorgan a la población, especialmente foránea; pero que a su vez puede representar un riesgo para la región debido a la intervención que se hace al uso del suelo, especialmente si esta no fue objeto de evaluaciones y estudios de impacto ambiental previos.

En la aldea San Mateo Milpas Altas, en el municipio de Antigua Guatemala, puede apreciarse las construcciones existentes en el lugar, principalmente de uso habitacional y

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

comercial. Así como parte de lo que son las laderas del cerro colindante a esta aldea, en donde se observa el proceso de cambio de uso de suelo que manifiesta actualmente consistente, principalmente en la remoción de la cobertura boscosa para cultivos.

En estos sectores puede apreciarse el proceso de cambio de uso de suelo descritos anteriormente; pudiéndose notar la inclinación del terreno sobre cuál están construidas, lo cual nuevamente conlleva a considerar el riesgo de estas estructuras y de la población que ellas habitan.

En algunos sectores del polígono de incidencia puede apreciarse el tipo de vivienda que se ha desarrollado en este sector, el cual contrasta con el de los alrededores en cuanto a la calidad de material, la dispersión de las viviendas y el uso probable (recreación, vacaciones o retiro) que puedan tener. Por lo anterior, se puede constatar que en esta zona existe una diversidad de uso de suelo, y en cuanto al caso de las viviendas esta también presenta diversidad de usos calidad de material y uso de las mismas.

Las regiones con mayor temperatura corresponden, en su mayoría, a los lugares y centros poblados descritos anteriormente, destacando el casco urbano de la cabecera municipal; en contraparte, las regiones de bosque y matorrales presentan temperaturas medias y bajas respecto a las de temperaturas altas.

Para el año 2022, puede apreciarse para este año un incremento notable de las regiones con temperaturas consideradas altas, las cuales corresponden nuevamente en su mayoría a los mismos lugares y centros poblados descritos en la figura anterior. A su vez, se puede observar un aumento de las zonas con temperaturas bajas y una disminución de las correspondientes a temperaturas medias. El comportamiento descrito anteriormente, puede tener relación con el aumento del área urbana y de infraestructura destinada a otros usos del suelo.

Se denota una dispersión promedio de la temperatura en la superficie del suelo, del polígono de estudio en la presente investigación, durante el periodo de meses de enero 2014 a enero de 2015. En la misma pueden apreciarse temperaturas consideradas altas entre los meses de marzo a mayo de 2014, aproximadamente 32°C, durante la estación de verano; a su vez, se presentan temperaturas consideradas bajas, de hasta 10°C, en los meses de septiembre y noviembre, correspondientes a la finalización de la época de invierno en el país.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Para el año 2022, se puede observar un notable cambio del comportamiento de las temperaturas a lo largo de los meses del mismo; presentándose temperaturas altas de hasta 35°C en el mes de abril, representando un incremento de hasta 3°C respecto a la anterior gráfica correspondiente al 2014 especialmente en las áreas urbanas y suburbanas del polígono de incidencia. En contraparte, se presentan temperaturas bajas de 6°C e incluso de menos cero grados centígrados en los meses de septiembre y julio, respectivamente. El comportamiento descrito anteriormente, puede tener algún grado de relación con el incremento de las áreas urbanas y suburbanas del mismo; así como también puede ser incidido por los efectos del cambio climático en el país y particularmente en este municipio.

14 Recomendaciones

Promover el mejor y mayor uso del suelo de las diversas áreas dentro del polígono de incidencia de la presente investigación, para lograr con ello la optimización de los potenciales servicios de desarrollo y ecosistémicos, utilizando para ellos métodos de valuación acordes a las variables existentes en estos entornos y paisajes de la región.

Es necesario el promover, por parte de las autoridades correspondientes, la realización de estudios de impacto ambiental, así como de evaluaciones ambientales estratégicas (EAE), tanto para los actuales proyectos en desarrollo como para los nuevos usos de suelo que se tienen contemplados en la región; buscando con ello el minimizar el riesgo hacia la población y los recursos naturales de la región.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

15 Referencias

- Alfie, M. (2011). Planeación urbana y medio ambiente: Los cinturones verdes. Espacialidades. *Revista de Temas Contemporáneos sobre Lugares, Política y Cultura*, 1(1), 72-100. <http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/28/1/34%20-%20Miriam%20Alfie.pdf>
- Bartorila, M. (2011, abril). *De las áreas ecológicas significativas al Plan de Ordenamiento Territorial de Montevideo*. *Nova Scientia*, 3(5), 64-84. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052011000100005&lng=es&tlng=es.
- Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, C., Cirio, G., & Arrivillaga, N. (2008). Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos: Aplicación a un caso en Guatemala. *Revista Universitaria de Geografía*, 17(1), 189-231. http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652008001100009
- Búcaro, H., & McMannis, L. (1996). *Creación del Cinturón Verde de Antigua Guatemala. Fase II* (Inf-96-003). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Facultad de Arquitectura, Centro de Investigaciones.
- Carré, M., & Fernández, L. (2013). ¿El cinturón ecológico?: Análisis de una marca urbana que nunca existió. *Eure*, 39(117), 49-68. <https://www.scielo.cl/pdf/eure/v39n117/art03.pdf>
- Centro de Estudios Urbanos y Regionales (2007). *La problemática de la Ciudad de Antigua Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales.
- Centro de Estudios Urbanos y Regionales (2012). *Gestión Metropolitana: un acercamiento a las problemáticas municipales de la Nueva Guatemala de la Asunción, Quetzaltenango y La Antigua Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal] (2013). *Islas de calor urbano*. https://geoportal.cepal.org/layers/geonode_data:geonode:Urban_Heat_Island__UHI_



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Consejo Nacional para la protección de La Antigua Guatemala. (2015). *Consultoría de la delimitación de las áreas circundantes de la ciudad de La Antigua Guatemala. Informe Final*. Arquitectura y Construcción.
- Fernández, L. (2016, abril). Urbanismo y ecología en Buenos Aires: Un recorrido por la planificación urbana en su contexto ecológico-regional. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 8(1),12-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193143596002>
- Flores B, O. G., & Cifuentes Soberanis, I. (2019). Asentamientos humanos e infraestructura. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 192–211). Guatemala: Editorial Universitaria UVG. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap9.pdf>
- Idom. (2018). Planificación de ordenamiento territorial, conservación patrimonial y desarrollo económico para el departamento de Sacatepéquez. Documento técnico de Soporte (DTS): Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial. Programa Nacional de Competitividad. <https://www.pronacom.org/wp-content/uploads/library/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipal%20y%20Ordenamiento%20Territorial%20-%20Antigua%20Guatemala.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (2018). XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda. <https://www.censopoblacion.gt/>
- Decreto Legislativo No. 60-69 (1969). Ley Protectora de La Antigua Guatemala, Congreso de la República de Guatemala https://en.unesco.org/sites/default/files/gt_lawprotectoldguatemalatown1969_spaorof.pdf
- Magaña Juárez, J. M. (2011). La arquitectura monumental de la Antigua Guatemala. *Apuntes: Revista de Estudios sobre el Patrimonio Cultural*, 24(1), 92-105. <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v24n1/v24n1a07>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change [Buenas prácticas para estimar el área y evaluar la precisión del cambio de tierra]. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714000704>
- Orozco & Orozco, E., Herrera, I., & Mujica Cervantes, A. (2011). Modelo matemático de flujo del sistema acuífero del valle aluvial de antigua Guatemala, Sacatepéquez,



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2), 75-79. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000200015&lng=es&tlng=es.

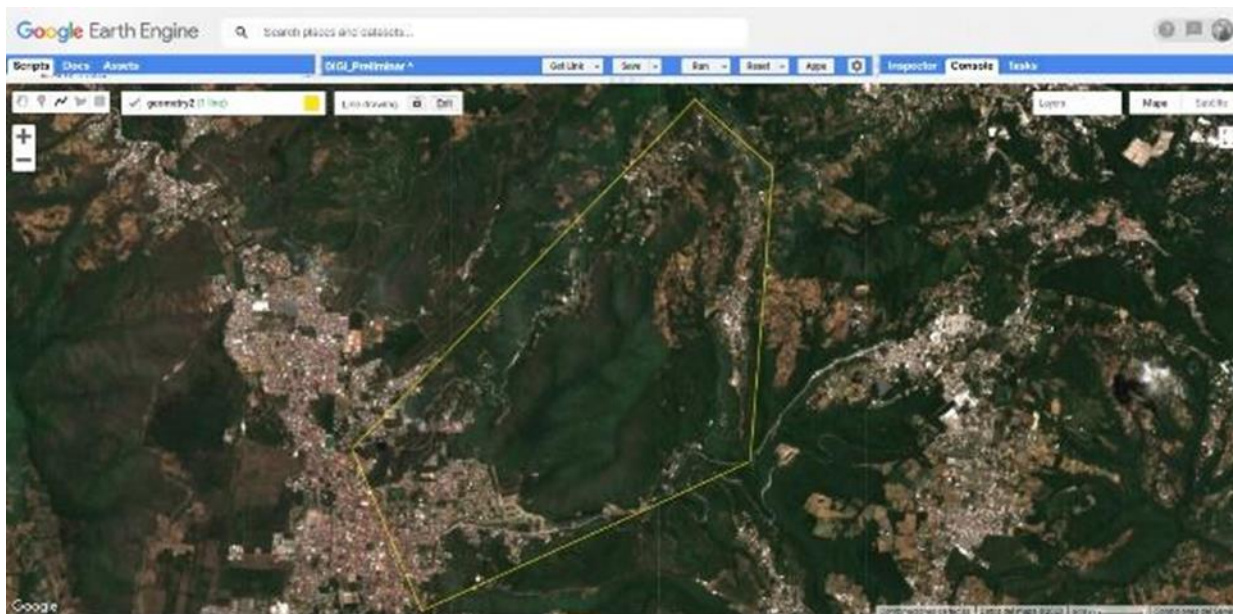
- Parámetros Normativos para Áreas Urbanizables que se localicen dentro del Cinturón Verde del Municipio de La Antigua Guatemala. (2010). Municipalidad de Guatemala. Diario Oficial No. 37, Tomo CCLXXXIX, p. 5-6. <https://muniantigua.gob.gt/download/parametros-normativos-para-areas-urbanizables-que-se-localicen-dentro-del-cinturon-verde/>
- Plan Regulador de Antigua Guatemala. (1973). Consejo Nacional para la protección de la Antigua Guatemala.
- Propin Frejomil, E., Mollinedo Beltrán, G., & Sánchez Crispín, Á. (2012). Estructura territorial del turismo en Guatemala. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (78), 104-121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56924410009>
- Ruiz-Sandoval, D. Arana-Coronado, J., Godbout, S., Sandoval-Salas, F., & Brambila-Paz, J. (2019). Valoración económica de tres servicios ecosistémicos antes del establecimiento de un cinturón verde alrededor de la ciudad de Quebec, Canadá. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 3-15. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-40182019000100003&lng=es
- Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*, (68), 71-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906808>
- Universidad de San Carlos de Guatemala [Usac] (2014). Política ambiental de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Consejo Superior Universitario Usac. http://faeconomicas.usac.edu.gt/wp_economicas/wp-content/uploads/2017/03/politica_ambiental_USAC.pdf
- Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático [SGCCC]. (2017). Líneas de Investigación en Cambio Climático. <https://sgccc.org.gt/lineas-investigacion-cambio-climatico/>
- Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático [SGCCC]. (2019). Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. SGCCC. <https://sgccc.org.gt/category/reporte-de-cambio-climatico-guatemala/>



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

16 Apéndice

Figura 25. *Polígono preliminar del área de estudio a mayo de 2023.*

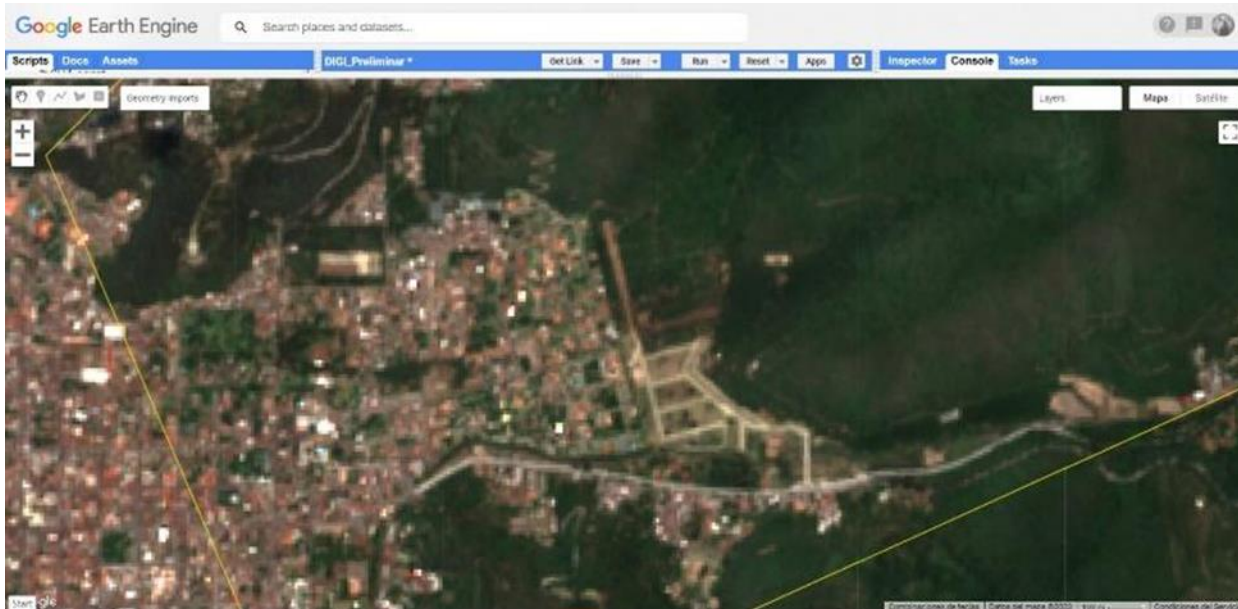


Nota. La Figura muestra el polígono preliminar del área de estudio con datos al mes de mayo de 2023, procesadas por medio de la aplicación Google Earth Engine con imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel-2. En la cual se puede apreciar una diferenciación entre la clasificación de las clases del uso del suelo como cultivos, áreas boscosas e infraestructura comprendidos dentro del polígono aquí descrito; con una probable preeminencia del área boscosa por sobre las otras clases. Asimismo, se puede mencionar el que la imagen está a color natural para su fotointerpretación que cuenta con los elementos importantes para diferenciar cada clase: a) Bosques: textura gruesa por la acumulación de las copas de los árboles y color verde oscuro; b) Cultivos: textura lisa por la uniformidad de la vegetación y con formas geométricas como rectángulos o cuadrados; c) Infraestructura urbana: se ven por las formas cuadradas y uniformes que suelen estar agrupados, al igual que las carreteras que tienen una textura plana y tonos claros. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 26. Polígono a detalle del área de estudio a mayo de 2023.



Nota. La Figura muestra a detalle del área de estudio con datos al mes de mayo de 2023, procesadas por medio de la aplicación Google Earth Engine con imágenes proporcionadas por los satélites Sentinel-2. En la misma se puede visualizar a mayor detalle la clase de área boscosa, así como la de infraestructura para la fecha antes indicada. Asimismo, se puede mencionar el que en esta imagen los píxeles tienen un tamaño de 10 m, haciendo que sea más sencilla la identificación de elementos en la fotointerpretación en color natural; sin embargo, se prevé que se tendrá una mezcla de píxeles al momento de realizar la caracterización de clase por el número de elementos que se encuentran por píxel. Elaboración propia con base en Google Earth Engine e imágenes satelitales 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 27. *Dispositivos y equipo utilizados para el levantamiento fotogramétrico del polígono de incidencia de la Antigua Guatemala en 2023.*



Nota. Estas fotografías muestran parte del equipo utilizado, tanto para la toma de datos como para el manejo del vehículo aéreo. La fotografía de la izquierda se muestra el vehículo o dron, la fotografía central muestra el dispositivo móvil empleado para manejar el dron por parte de la empresa contratada para el levantamiento fotogramétrico. La fotografía de la derecha, describe un dispositivo móvil utilizado por el equipo de investigación del presente estudio para la toma de coordenadas georreferenciadas del lugar. Tomada por Julio Estrada el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 28. Imágenes aéreas tomadas por vehículo aéreo de los polígonos de incidencia del área de estudio del sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, 2023.



Nota. Se muestran imágenes aéreas y modelos de superficie, correspondientes a Los polígonos de estudio previamente definidos y concertados con la empresa que realizó el levantamiento fotogramétrico para la obtención de información de la presente investigación en desarrollo. En la fotografía de la izquierda, se observa parte de la infraestructura correspondiente al sector Norte de la aldea El Hato, Municipio de Antigua Guatemala, la cual fue tomada por el dron en los primeros días de inicio del levantamiento descrito. En ella, se observa la poca densidad de estructuras de este sector consistiendo principalmente en unidades de vivienda y algunos campos de cultivo; es de hacer mención que esta aldea se encuentra en la parte superior del cerro conocido como Las Chacras, representando un posible riesgo antes de deslizamientos de suelo. En la imagen de la derecha, se pueden apreciar los tres polígonos de incidencia antes descritos, correspondientes a: a) sector Noroeste de la ciudad de la Antigua Guatemala (parte inferior de la imagen); b) aldea El Hato (superior central); c) aldea San Miguel Milpas Altas (superior derecha). Tomada de dron el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 29. *Ubicación de puntos de control y de observación para el levantamiento fotogramétrico en la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, 2023.*



Nota. En esta secuencia de fotografías, se pueden apreciar los puntos de control que se ubicaron, previamente definidos por el personal de la empresa contratada para realizar el levantamiento fotogramétrico, para el control del vehículo aéreo durante el sobrevuelo al polígono de incidencia. En primer lugar, a la izquierda, corresponde al punto de control en la parte Norte de la mencionada aldea, a inmediaciones de un complejo turístico privado. Las fotografías del centro y de la derecha, corresponden al punto de control en el parque central de la aldea. Se hace mención que estos puntos fueron necesarios, debido a la extensión del polígono a cubrir y al margen de seguridad que debe tener el vehículo aéreo para no perder la señal y calidad de las imágenes a tomar; así como del control del vuelo del propio dispositivo. Tomada por Julio Estrada el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 30. *Equipo y material impreso utilizado para la verificación de datos durante la visita técnica de trabajo realizada el 24 de octubre de 2023.*



Nota. La fotografía se muestra parte del material gráfico utilizado, referente a Los polígonos de incidencia sobre los cuales se realizaron las visitas de trabajo a la región Noroeste del Municipio de Antigua Guatemala. Así como el equipo utilizado, consistente principalmente en una mira telescópica para observación y dispositivo móvil con la aplicación para la toma de datos descrita anteriormente. Esta fotografía muestra parte de la metodología empleada tanto para la visita de campo como para el sobrevuelo para el levantamiento fotogramétrico descrito. A su vez es, de agradecer el apoyo brindado por el ingeniero Julio Estrada de la Dirección General de Investigación de la Usac, para la toma del presente material fotográfico como parte del acompañamiento y asesoría por parte de la Digi para la elaboración de un registro fotográfico que conlleve a reforzar las investigaciones que se están realizando. Tomada por Julio Estrada el 24 de octubre de 2023.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

a) Cambio climático Global y sus efectos en Guatemala

El más reciente reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) afirma con un alto grado de confianza que las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI- (como el bióxido de carbono CO₂, el metano CH₄, el óxido nitroso N₂O y el vapor de agua), han causado el calentamiento global (IPCC, 2023), con un aumento de la temperatura de la superficie global que alcanzó entre 2011-2020 1,1 °C por encima de los valores promedio del período 1850-1900 (**Figura 12**).

Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando, con contribuciones históricas y actuales desiguales derivadas del uso insostenible de la energía, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra, los estilos de vida y las modalidades de consumo y producción en las distintas regiones, entre los países y dentro de ellos y entre las personas. Como consecuencia de ello, se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la biósfera. El *cambio climático antropogénico* ya está afectando a muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Esto ha dado lugar a efectos adversos generalizados y a pérdidas y daños relacionados con la naturaleza y las personas. Las comunidades vulnerables, que históricamente son las que menos han contribuido al cambio climático actual, se ven afectadas de manera desproporcionada.

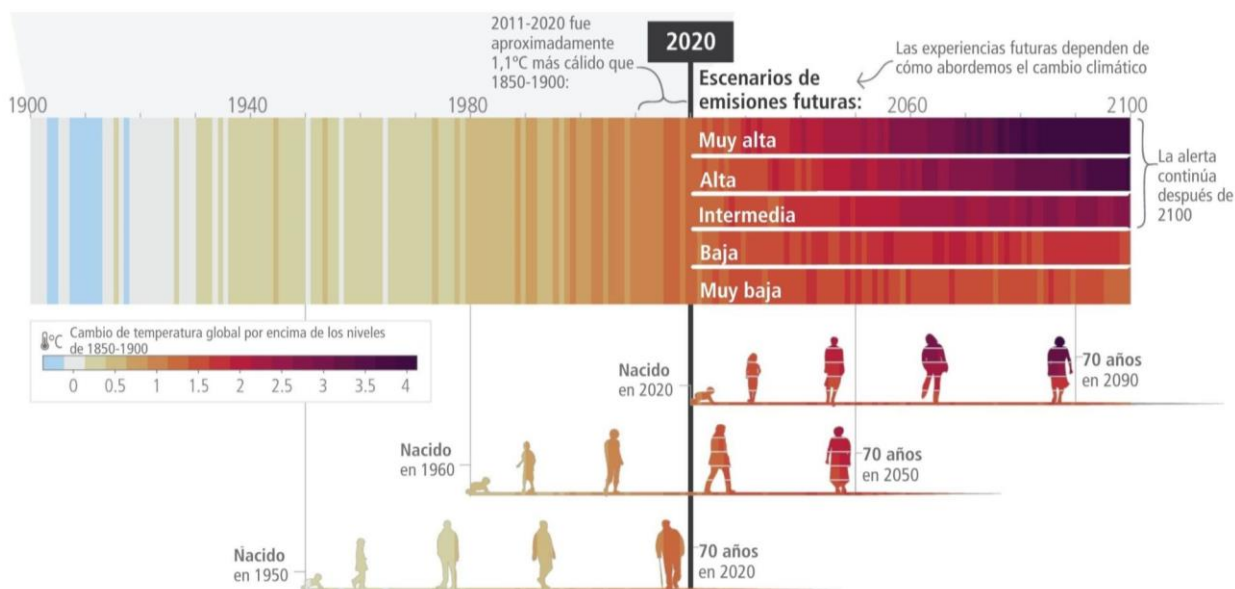
El cambio climático puede exacerbar los procesos de degradación de la tierra, por ejemplo, a través de aumentos en la intensidad de la lluvia, las inundaciones, la frecuencia y severidad de la sequía, la sobrecarga térmica, los períodos de sequía, el viento, el nivel del mar, la acción de las olas y el deshielo del permafrost, cuyos resultados son modulados por la gestión de la tierra. Los cambios en las condiciones de la tierra, ya sea por su uso o el cambio climático, afectan al clima global y regional. A escala regional, las condiciones cambiantes de la tierra pueden reducir o acentuar el calentamiento y afectar a la intensidad, frecuencia y duración de los fenómenos extremos. La magnitud y dirección de esos cambios varían según la ubicación y la estación (IPCC, 2019).

Los cambios en la cubierta forestal, por ejemplo, debido a la forestación, la reforestación y la deforestación, afectan directamente a la temperatura en superficie regional a través del intercambio de agua y energía. Cuando la cubierta forestal aumenta en las regiones tropicales, se produce un enfriamiento debido al aumento de la evapotranspiración. El aumento de la evapotranspiración puede generar días más frescos durante el período de crecimiento y puede reducir la amplitud de los fenómenos relacionados con el calor (IPCC, 2019).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 31. Mapa de las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas por el Insivumeh



Este gráfico es una adaptación al castellano del publicado originalmente en el informe de síntesis del Sexto Ciclo de Evaluación del IPCC. Créditos: climatica.lamarea.com.

Nota. En esta ilustración se aprecian los cambios observados (1900-2020) y proyectados (2021-2100) en la temperatura de la superficie global (en relación con 1850-1900), que están vinculados a cambios en las condiciones e impactos climáticos, ilustran cómo el clima ya ha cambiado y cambiará a lo largo de la vida de tres generaciones representativas (nacidas en 1950, 1960 y 2020). Se muestran las proyecciones futuras (2021-2100) de cambios en la temperatura de la superficie global para escenarios de emisiones de GEI muy bajas (SSP1-1.9), bajas (SSP1-2.6), intermedias (SSP2-4.5), altas (SSP3-7.0) y muy altas (SSP5-8.5). Los cambios en las temperaturas anuales de la superficie global se presentan como "franjas climáticas", con proyecciones futuras que muestran las tendencias a largo plazo causadas por el ser humano y la modulación continua por la variabilidad natural (representada aquí utilizando los niveles observados de variabilidad natural pasada). Los colores de los iconos generacionales corresponden a las franjas de temperatura de la superficie global de cada año, con segmentos en los iconos futuros que diferencian las posibles experiencias futuras. Tomado de Climatica.lamarea.com con base en IPCC (2023).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

En las zonas urbanas, el cambio climático ha causado efectos adversos en la salud humana, los medios de subsistencia y la infraestructura clave. Los extremos de calor se han intensificado en las ciudades. La infraestructura urbana, incluidos los sistemas de transporte, agua, saneamiento y energía, se han visto comprometidos por fenómenos extremos y de evolución lenta, con las consiguientes pérdidas económicas, interrupciones de los servicios e impactos negativos en el bienestar. Los efectos adversos observados se concentran entre los residentes urbanos económica y socialmente marginados.

En el caso de la relación entre clima y salud humana, se ha identificado que un clima cada vez más inestable, la pérdida acelerada de biodiversidad y la desigualdad socioeconómica afectan la resistencia de los sistemas naturales. Los cambios en el uso del suelo afectan la distribución de los agentes portadores de enfermedades como los roedores y los insectos, mientras que el clima incide directamente en la duración e intensidad de los brotes de enfermedades. De esta manera, padecimientos como la malaria, la peste, el dengue o el síndrome pulmonar hantavirus, entre otros, han reaparecido o se han intensificado en diversas partes del mundo (Zwick, 1997). Los impactos negativos a la salud humana pueden darse por vía directa, como en el caso de olas de calor y aumento de la contaminación exacerbada por el aumento en la temperatura o los daños físicos causados por eventos extremos, o por vía indirecta, como resultado de sequías, inundaciones y cambios climáticos que causan condiciones favorables para los agentes infecciosos, virus, bacterias o parásitos y sus agentes transmisores llamados «vectores».

Según Zwick (1997), las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pueden causar disturbios fisiológicos y daños a diferentes órganos provocando enfermedades o la muerte en los seres humanos. Una de las consecuencias más seguras y directas del cambio climático es un aumento en la morbilidad y la mortalidad humanas en períodos de clima extremos como son las olas de calor. La letalidad de una ola de este tipo aumenta si ocurre al principio del verano (cuando la población todavía no ha podido aclimatarse al calor), si es de larga duración y si hay temperaturas nocturnas elevadas. Estos efectos son peores en las ciudades debido al efecto de *isla de calor urbano*, que involucra la liberación nocturna del calor almacenado durante el día en el cemento y los materiales metálicos urbanos. El cambio climático podría causar un aumento en la frecuencia de periodos muy calurosos combinados con altas concentraciones de contaminantes dando lugar a cierta sinergia entre los efectos negativos de ambos fenómenos.

Según Magrin y colaboradores (2014), citado en Alfaro (2019), Centroamérica representa una región con alta exposición a riesgos geo climáticos debido a su localización y topografía, lo cual se complica aún más por la vulnerabilidad de los asentamientos humanos como consecuencia de la falta de planificación territorial. Asimismo, corresponde a una de las regiones más sensibles al cambio climático, lo cual se evidencia con el incremento, en los últimos 30 años, de eventos extremos tales como tormentas, inundaciones, sequías y heladas. Por su parte, la región posee alta diversidad biológica debido a la gran variedad de microclimas con los que cuenta. Sin embargo, esta se encuentra cada vez en mayor riesgo debido a diferentes presiones, entre la cuales se



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

pueden mencionar el rápido crecimiento poblacional que conlleva a una explotación masiva de los recursos naturales, cuyas causas principales son el cambio de uso del suelo para agricultura y/o ganadería, la expansión urbana y la industrialización. Por estas razones, resulta muy importante la generación de información confiable y de estrategias que puedan ser convertidas en políticas nacionales para poder tomar medidas que ayuden a reducir los efectos negativos del cambio climático.

Las características topográficas y la posición geográfica de Guatemala hacen que posea naturalmente gran cantidad de microclimas y alta variabilidad climática. Sin embargo, esta variabilidad ha aumentado en los últimos años debido a que el país es afectado constantemente por eventos climáticos extremos, como sequías y huracanes, incrementados a causa de los efectos del cambio climático. La economía del país depende en gran parte del sector agrícola, uno de los sectores más afectados por la variabilidad climática, si se toma en cuenta que cada vez es menos predecible el inicio y fin de la temporada lluviosa. Esto es el reflejo de las alteraciones en la precipitación que, incluso, han modificado los periodos de cosecha y siembra; poniendo en riesgo la seguridad alimentaria del 52 % de la población rural que depende de los cultivos de maíz y frijol, dos de los sistemas más sensibles a la variabilidad climática, ahora más propensos a plagas y enfermedades por el aumento de la temperatura. Ante esta variabilidad, es de suma importancia la implementación de medidas de adaptación frente al posible aumento de eventos hidrometeorológicos extremos debido al cambio climático, según los escenarios a futuro, para que no afecten tan fuertemente la economía ni pongan en riesgo constante la seguridad alimentaria (CGIAR, 2015), citado por Alfaro (2019).

De acuerdo con lo anteriormente descrito, y según lo concluido por el IPCC (2019), el cambio climático crea tensiones adicionales en la tierra, lo que exacerba los riesgos existentes para los medios de subsistencia, la biodiversidad, la salud humana y de los ecosistemas, la infraestructura y los sistemas alimentarios. Se prevén impactos crecientes en la tierra en todos los escenarios futuros de emisiones de GEI . Algunas regiones se enfrentarán a mayores riesgos, mientras que otras regiones se enfrentarán a riesgos no anticipados previamente. Los riesgos en cascada con impactos en múltiples sistemas y sectores también varían de una región a otra, siendo Guatemala y la región centroamericana una de las áreas del mundo con mayor exposición a dichas amenazas. Por estos motivos, es de alta relevancia conocer cómo se categorizan los usos del suelo en una región, en este caso el sector Noreste del Municipio de Antigua Guatemala, así como el impacto que ha tenido la creciente urbanización sobre las áreas verdes, lo cual a su vez desencadena efectos adversos sobre la zona exacerbados por el cambio climático global. Todo esto con el objetivo de proponer estrategias de adaptación al cambio climático, las cuales se describen a continuación.

b) Estrategias para la adaptación al cambio climático

El Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño plantea la adaptación como “el ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes”; Holling (1973), por su parte, lo plantea como la capacidad que tiene un



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

sistema para absorber cambios. Adger (2000), lo aplica también a los sistemas sociales, concluyendo que el mismo se configura como una construcción social. Smit y Wandel (2006) plantean el concepto de adaptación como el proceso, acción o resultado de un sistema, al enfrentarse o ajustarse a una perturbación. Frente a esto, Quintero y colaboradores (2012) proponen que, en su mayoría, las estrategias de adaptación surgen de manera espontánea, y que, en algunos casos, van de la mano de organismos sin ánimo de lucro o estamentos del Estado, los cuales a través de sus programas sociales apoyan estos procesos. Quintana (2017), por su parte, reconoce que la respuesta frente a los efectos del cambio climático depende no solo de las características climáticas, físicas, económicas o naturales de lugar, sino de las condiciones propias del sistema que, extrapoladas al territorio, tienen que ver con los agentes sociales que los producen.

En este sentido, tanto la adaptación como la gestión territorial se definen como construcciones sociales que se dan en función de distintos intereses (Adger, 2000). Por un lado, están el arraigo y la transformación del sustrato espacial, a partir de relaciones sociales en distintos niveles, y, por otro, la necesidad de adaptarse para enfrentar los efectos de las dinámicas ambientales cambiantes, a fin de poder permanecer en el espacio o territorio. Vista así, la adaptación forma parte del conjunto de acciones mediante las cuales las comunidades transforman el sustrato espacial, por lo cual puede entenderse como una forma de territorialización, en la que se logra modificar el estado inicial del sistema territorial sin desconocer el papel de los gobiernos, la academia y la legislación para implementarla.

c) Gestión territorial

La gestión territorial integral para la adaptación al cambio climático implica una visión alternativa de gobernanza, en la que la participación comunitaria trascienda los conceptos constitucionales de socialización y participación. La gestión territorial integral debe alimentar la necesidad de transformar el rol de las instituciones del Estado, para mejorar su capacidad de intervención directa en los territorios. La gestión territorial integral debe contribuir al reconocimiento del territorio como un recurso social a través de la conformación de un cuerpo político en el que se establezca la forma de acceso a este (Segura et. al, 2022).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (11 - Ciudades y comunidades sostenibles y 15 - Vida de ecosistemas terrestres), entre otros, implican en todos los países repensar la expansión sobre su territorio de las ciudades y, con ello, integrar una gestión territorial para la adaptación al cambio climático (*ODS 13 - Acción climática*). La Comisión Europea (COM, 2013), por ejemplo, reconoce que la sociedad humana se sustenta en los beneficios que aporta la naturaleza: alimentos, materiales, agua limpia, aire puro, regulación climática, prevención de inundaciones, polinización y lugares de recreo. Ahora bien, muchos de esos beneficios, que suelen denominarse *servicios ecosistémicos*, se utilizan como si su suministro fuera prácticamente ilimitado y se tratan como productos básicos gratuitos sin que su valor real se aprecie en toda su magnitud. A consecuencia de ello, puede ocurrir que las autoridades públicas recurran a la construcción de infraestructura



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

)infraestructura gris) como remedo de soluciones naturales para resolver problemas como la prevención de inundaciones. Así pues, se sigue degradando el capital natural, poniendo en peligro la sostenibilidad a largo plazo y minando la resiliencia frente a las presiones medioambientales.

Este proceso de avance urbano sobre otros sistemas suele ser abordado desde las lógicas del urbanismo y la planificación a partir de algunas variables: i) crecimiento demográfico; ii) forma de crecimiento; iii) los impulsores de estos procesos de crecimiento urbano (Jiangou Wu, 2014). Este tipo de estudios están ligados específicamente al hecho urbano como proceso interno que se da en una ciudad que tiene sus límites definidos, por ejemplo, a partir de la preponderancia del uso del suelo urbano. Otra forma de definir el límite es el ejido urbano como recorte jurisdiccional, dejando por fuera procesos o partes de procesos que en la realidad del territorio no se ajustan a estos límites.

Giobellina y colaboradores (2020) explican que, desde el enfoque de la complejidad donde los componentes de un sistema se determinan mutuamente y la estructura que los determina está dada por el conjunto de relaciones que se establecen, resulta fundamental entender a la ciudad como un sistema complejo donde interactúan, tanto procesos antrópicos relacionados a los flujos de intercambios que propician los seres humanos, pero también procesos ecológicos que llevan adelante los ecosistemas, afectados también por impulsores antrópicos. Desde ahí se puede abordar la idea de la relación entre sistemas humanos y naturales o “socioecosistemas” [Coupled Human and Natural Systems] (Dietz et al., 2008), como la forma en que es necesario revisar el urbanismo y la planificación de las ciudades.

El IPCC (2019) indica, con un nivel de confianza alto, que el nivel de riesgo que plantea el cambio climático depende tanto del nivel de calentamiento como de cómo evolucionan los patrones de población, consumo, producción, desarrollo tecnológico y gestión de la tierra. Los aumentos proyectados de la población y los ingresos, combinados con los cambios en los patrones de consumo, dan como resultado una mayor demanda de alimentos, piensos y agua en 2050 en todas las trayectorias socioeconómicas compartidas. Estos cambios, combinados con las prácticas de gestión de la tierra, tienen consecuencias para los cambios en el uso de la tierra, la inseguridad alimentaria, la escasez de agua, las emisiones terrestres de GEI, el potencial de secuestro de carbono y la biodiversidad. Las trayectorias de desarrollo en las que aumentan los ingresos y se reduce la demanda de conversión de tierras, ya sea a través de una menor demanda agrícola o de una mayor productividad, pueden dar lugar a reducciones en la inseguridad alimentaria. Todas las trayectorias socioeconómicas futuras evaluadas dan como resultado aumentos en la demanda de agua y la escasez de agua. Las trayectorias socioeconómicas compartidas con una mayor expansión de las tierras de cultivo dan como resultado una mayor disminución de la biodiversidad.

Lo anteriormente mencionado resalta la importancia de abordar la adaptación al cambio climático desde una perspectiva de gestión del territorio y tomar medidas relacionadas a la tierra que contribuyan a afrontar las consecuencias negativas de este fenómeno, a su vez



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

aportando a la mitigación de gases de efecto invernadero y al desarrollo sostenible. Estas medidas incluyen, entre otros ámbitos, la producción sostenible de alimentos, una gestión forestal mejorada y sostenible, la gestión del carbono orgánico en el suelo, la conservación de los ecosistemas y la restauración de la tierra, la reducción de la deforestación y la degradación, y la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Esas opciones de respuesta requieren la integración de factores biofísicos y socioeconómicos y otros factores propicios a través del ordenamiento territorial con un enfoque de ecosistemas.

Si bien algunas opciones de respuesta tienen un impacto inmediato, otras tardan décadas en ofrecer resultados mensurables. Entre los ejemplos de opciones de respuesta con impactos inmediatos figura la conservación de ecosistemas con alto contenido de carbono, como turberas, humedales, pastizales, manglares y bosques. Entre los ejemplos que aportan múltiples servicios y funciones ecosistémicos, pero que tardan más tiempo en dar resultados, figuran la forestación y la reforestación, así como la restauración de ecosistemas con alto contenido de carbono, la agrosilvicultura y la recuperación de suelos degradados. El éxito en la aplicación de las opciones de respuesta depende de que se tengan en cuenta las condiciones medioambientales y socioeconómicas locales (IPCC, 2019) pues, en algunos casos, su implementación requiere la regulación del crecimiento de la mancha urbana para evitar el cambio de uso de suelo.

Esto debido a que el medio urbano supone una artificialización, con impermeabilización de gran parte del suelo y profunda alteración del relieve, la calidad del aire, el suelo y el agua, el clima y el régimen hidrológico, con lo que se pierden hábitats, se interfieren gravemente procesos naturales y se aumenta la tasa de perturbación. Ello no impide que sigan existiendo algunos organismos, además del hombre, que logran sobrevivir en el medio urbano, e incluso los hay los que prosperan especialmente en él. Se puede hablar, por tanto, de una biodiversidad urbana, si bien la riqueza en especies de una ciudad dependerá mucho de las condiciones específicas de ésta.

Rueda (2022) indica que el efecto de las ciudades se extiende sobre un entorno mucho mayor que el del territorio estrictamente ocupado por ellas, ya que las ciudades son sistemas heterotróficos, es decir, incapaces de alimentarse con su propia producción primaria, y, por lo menos en sus formas actuales, no pueden tampoco sostenerse con la lluvia que reciben y los recursos de energía y materiales de que disponen dentro de su propio territorio. Por esta razón, la biodiversidad se ve afectada por la forma de vida urbana no sólo en el medio propiamente urbano sino en un entorno mucho mayor.

Se trata de reverdecer las ciudades y reducir el índice de impermeabilización mediante la recuperación del verde en el seno de las ciudades compactas, integrando espacios que hagan a los medios urbanos y a las infraestructuras, en especial a las vías de transporte, más permeables a plantas y animales. La estructura de la red verde conformará un mosaico verde de interconexión entre parques, jardines, espacios intersticiales, interiores de manzana, cubiertas verdes y calles liberadas al tráfico. Creará una red verde entre las diferentes matrices de la ciudad con un entramado de itinerarios peatonales de enlace.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

La mayoría de las infraestructuras y edificios en las ciudades fueron diseñados para las condiciones climáticas precedentes. Estas condiciones han ido cambiando y cambiarán mucho más en las próximas décadas en todo el mundo, en especial, las que provocan inundaciones, sequías extremas y olas de calor. La adaptación de las infraestructuras y el parque edificado a los fenómenos descritos es crucial para reducir su vulnerabilidad.

Por lo tanto, la zonificación del uso de la tierra, la planificación espacial, la planificación integrada del paisaje, los reglamentos, los incentivos (como el pago por servicios ecosistémicos) y los instrumentos voluntarios o persuasivos (como la planificación agrícola medioambiental, las normas y la certificación para la producción sostenible, el uso de conocimientos científicos, locales e indígenas, y la acción colectiva) pueden lograr resultados positivos de adaptación y mitigación, afirma el IPCC (2019). También pueden aportar ingresos y proporcionar incentivos para rehabilitar tierras degradadas y adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos en ciertos contextos (nivel de confianza medio). Las políticas que promueven el objetivo de la neutralización de la degradación de las tierras también pueden apoyar la seguridad alimentaria, el bienestar humano, y la adaptación al cambio climático y la mitigación del cambio climático.

Referencias:

- Adger, N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3), 347-364. <https://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Alfaro M, & Gómez, R. (2019). *Antecedentes y contexto del cambio climático en Guatemala*. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 2–19). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
- Consortium of International Agricultural Research Centers [CGIAR] (2015). *Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria en Guatemala*. Guatemala.
- Holling, C. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Giobellina, B. (2020). *Infraestructuras verdes: desde el territorio a la cubierta habitable. Serie: innovaciones para la sostenibilidad en vivienda, ciudad y territorio: para el caso de Córdoba*. 1ra. edición compendiada. Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba.
- IPCC (2019): *Resumen para responsables de políticas*. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)].



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

IPCC (2023): *Summary for Policymakers*. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Equipo principal, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala [INSIVUMEH] (1990). *Aspectos generales del clima: el clima de Guatemala*. Guatemala.

IzeLema, I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta Ecológica*, (65), 43-52.

Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J.-P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., Poveda, G., ... Vicuña, S. (2014). Central and South America. En V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, ... L. L. White (Eds.) (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Part B: Regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1499–1566). Cambridge, United Kingdom and New York, USA. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.007>

Quintana, S. (2017). Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. *Tlamelaua*, 10, 180-200.

Quintero, M., Carvajal, Y., & Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: Intersecciones con la gestión del riesgo. *Luna Azul*, (34), 257-271.

Rueda, S. (2022) *Carta para la planificación ecosistémica de las ciudades y metrópolis*.

Segura Guerrero, E., López Bernal, O., y Figueroa Casas, A. (2022). Desafíos de la gestión territorial integral, para la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 15. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu15.dgti>

Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 282-292.

Zwik, A. (1997). *Global Climate change: Potential Impact on Human Health*. IPTS Report. 13. Joint Research Center, Sevilla.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

b) Referencias sobre ecología urbana

A continuación, se describe parte de las referencias recabadas en el presente mes, entorno a la aplicación de los principios de la ecología en las áreas urbanas, suburbanas y zonas de amortiguamiento. Este acopio de información será objeto de análisis y reflexiones en los subsecuentes informes de la presente investigación, como parte de la consecución de los objetivos de la misma.

Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, C., Cirio, G., & Arrivillaga, N. (2008). Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos: Aplicación a un caso en Guatemala. *Revista Universitaria de Geografía*, 17(1), 189-231.
<https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239098008.pdf>

Resumen

El objetivo general de este documento es ofrecer criterios teórico-metodológicos para, en una primera etapa, identificar y precisar usos del suelo reales que sean útiles en una segunda etapa para definir lugares en términos de patrones de ocupación y apropiación territorial en la microescala. La investigación, realizada entre la UNLP Argentina y la USAC Guatemala, se refiere a la aglomeración urbana constituida por Antigua Guatemala, Ciudad Vieja y Jocotenango, en la República de Guatemala. Luego de abordar antecedentes teóricos sobre el tema, se proponen ocho instancias teórico-metodológicas para definir y trabajar con usos del suelo reales; en resumen, son: 1-base teórica del concepto; 2-uso del suelo como concepto; 3-clasificación de usos; 4-cartografía-base y datos; 5-ajustes a la clasificación; 6-territorialidades; 7-vocaciones y “pre-lugares”; y 8-resultados: mapa analítico e interpretación. A continuación, a partir de una investigación previa, se proponen criterios teórico-metodológicos para definir lugares; en resumen, son las siguientes etapas: 1-territorialidades y territorios; 2-vocaciones y “pre-lugares”; 3-racionalidades, procesos, tendencias y actores; 4-mapeo de lugares; y 5-matriz-síntesis: “lugares, conceptos y variables”. Las conclusiones se refieren a aspectos teórico-metodológicos, aspectos metodológico-técnicos, ordenamiento territorial y turismo, aplicabilidad, utilidad, entendimiento y conciencia del territorio, y cooperación y replicabilidad.

Reflexiones/consideraciones preliminares

- En el área de estudio de la presente investigación Digi/Ceur, existen tres de las cuatro territorialidades: urbanas, periurbanas y naturales. La territorialidad urbana está muy bien marcada, dando paso inmediatamente a una territorialidad periurbana; siendo notable la escasa distancia que media entre ambas y una territorialidad natural, situación ligada a las características del sitio.
- La vocación residencial está presente en toda el área de estudio, destacándose la zona noreste de la región, en Jocotenango, por la densidad de ocupación, y las zonas residenciales en las laderas del Cerro de la Cruz.



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- la territorialidad natural como el espacio donde prevalecen las legalidades naturales por sobre las sociales, y donde el grado de transformación antrópica no es determinante, podemos considerar que existe en el área una territorialidad natural vinculada a los volcanes y a sus faldeos, que aún conservan buena parte de los bosques originales.

A desarrollar.

- Categorización usos del suelo (p. 200-201)
- Monografía Antigua Guatemala (p. 203-204)
- Usos de suelo Antigua Guatemala en 1967 (p. 205-206)
- Referencias metodológicas (p. 207)
- Cartografía-base y datos (x, y, z) (p. 211)
- Ajustes a la clasificación (p. 212): “Observación directa, cartografía temática, fotos, aerofotos, imágenes satelitarias de alta resolución y diversas fuentes bibliográficas y documentales constituyen según los casos, y dependiendo de los recursos disponibles, herramientas útiles para ajustar y validar la clasificación elegida como base.”

Castillo, F., García, J., López, A., & Celada, M. (2013). *Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala*. Informe final. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/informes2012/INF-2012-36.pdf>

Resumen

En la actualidad existe un consenso en afirmar la dependencia de las sociedades humanas con los sistemas ecológicos. Esto ha impactado profundamente en el modo de entender los beneficios que recibimos de la naturaleza y sus ecosistemas, siendo estos beneficios denominados: Servicios ecosistémicos, servicios ecológicos o servicios ambientales. Los servicios ecosistémicos urbanos que son generados por los ecosistemas o unidades de paisaje urbano, fueron evaluados en las ciudades de Quetzaltenango y La Antigua Guatemala. En este estudio se identificaron los servicios ecosistémicos urbanos que hay en estas dos ciudades utilizando un enfoque espacial. Se identificaron las unidades de paisaje urbano como un modelo espacial a partir del relieve urbano, usos del suelo urbano y las estructuras verdes y grises de las ciudades. Se evaluaron los SEU sobre cada unidad de paisaje y se evaluó el grado de conocimiento de las autoridades y ciudadanos sobre el tema utilizando encuestas y entrevistas semiestructuradas. Los resultados muestran que los residentes y autoridades no tienen un conocimiento explícito sobre los SEU que hay en las ciudades, sin embargo, existe una percepción leve sobre los beneficios de los ecosistemas urbanos (verde urbano) debido a la experiencia de las personas. En el caso de los documentos también se refleja eso, se esperaría que una campaña de divulgación sobre



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

el tema fortalezca el conocimiento de los SEU en los ciudadanos de las ciudades evaluadas.

Camino Dorta, J., Gimeno Ortiz, M., & Ramón Ojeda, A. A. (2014). Las unidades ambientales homogéneas como herramienta para la ordenación territorial y la caracterización de litorales áridos. *Vegueta: Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/12821/1/0234500_00014_0009.pdf

Resumen

En Canarias, en las últimas dos décadas se ha generalizado en la actividad de ordenación territorial el empleo de las denominadas unidades de diagnóstico, que fueron reguladas en 1995 por el Decreto 35/95 de Evaluación Ambiental (hoy derogado). Las unidades ambientales homogéneas se han convertido en una herramienta del planificador. La validez de las mismas, los problemas y ventajas que ofrecen en la práctica, es analizada en este artículo de cara a la ordenación y gestión litorales. Desde la praxis se valora la eficacia de esta metodología en las costas orientales de Canarias y su posible extrapolación a otros territorios continentales, comprobando su validez y eficacia en las cercanas costas saharianas y su espacio litoral.

Reflexiones/consideraciones preliminares

- Habitualmente, los estudios ambientales abordan el análisis de los diferentes elementos del medio, como pueden ser el relieve, el clima, la fauna y la vegetación, y por supuesto, también el paisaje. Cuando este tipo de estudios abordan el paisaje, normalmente se valora éste como recurso, es decir, como un elemento más del medio que tiene un valor intrínseco.
- De esta manera, se definen paisajes urbanos, litorales, rurales, etc., no se trata en ningún caso del paisaje ecosistémico del que venimos hablando, sino del «paisaje recurso», con un valor cultural, natural y estético. Se da entonces la paradoja de que en un mismo estudio ambiental se puede estudiar el paisaje desde las dos perspectivas: como recurso o elemento del medio, pero también como paisaje integral, ecosistémico, algo que genera una lógica confusión. A considerar: Conceptos y caracterización del paisaje (p. 4-5): Metodología para caracterización de paisajes. Marco conceptual para glosario.

Polo, J. J. G., Cabrera, F. J. C., & Vega, J. J. (2016). Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1), 65-79. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2013-33.pdf>

Resumen

La urbanización es un fenómeno global de tendencia creciente, cuyo pronóstico prevé, para el 2050, que aproximadamente el 70% de la población mundial será urbana. Esto tendrá un impacto sobre la diversidad biológica de hábitats no urbanos, lo que podría



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

generar pérdida de especies y de los servicios ecosistémicos relacionados. Las administraciones municipales deben de contemplar este componente para la planificación y desempeño ambiental de sus ciudades y áreas urbanas. Dada la importancia de esta tendencia, el Convenio para la Diversidad Biológica (CDB) ha planteado una nueva herramienta para estimar la diversidad biológica en ciudades: el Índice de Diversidad Biológica Urbana. En este proyecto se evaluó el índice para la ciudad de La Antigua Guatemala en su línea base y se aportan elementos para la evaluación, planificación y gestión ambiental. Se midieron dieciocho indicadores de biodiversidad urbana, incluyendo información de línea base de plantas vasculares, mariposas y aves, áreas protegidas, información sobre servicios ecosistémicos, gobernanza y manejo de la diversidad biológica. La información fue obtenida de las autoridades municipales, de gobierno central, documentos oficiales, del análisis espacial de información satelital y de muestreo de campo. De un máximo de 72 puntos el resultado para la ciudad de La Antigua Guatemala fue de 33 puntos. Los registros para la línea base de la biodiversidad son: 99 especies de aves, 148 especies de plantas vasculares, 46 especies de mariposas y 11 especies de murciélagos. Las recomendaciones para tener un mejor desempeño en el tema de diversidad biológica están relacionadas con la urgente necesidad que la ciudad, previo a la próxima evaluación del índice, elabore la estrategia local de diversidad biológica y su plan de acción (LBSAP – por sus siglas en inglés). Se recomienda, además, planificar e implementar proyectos de gestión ambiental y continuar utilizando el índice de diversidad biológica urbana para el monitoreo y evaluación del desempeño ambiental de la ciudad a largo plazo. A considerar el revisar los resultados en los apartados 6 del informe Digi y en el artículo.

Godínez Orantes, R. (2020). *Ordenamiento territorial por el método de paisaje mediante el establecimiento de unidades ambientales en áreas urbanas y rurales de Guatemala*. [Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://drive.google.com/file/d/1gW5pKR3lsMKrIlgS3ymBA9b2VdZ9H3S9a/view>

Resumen

La investigación tiene como propósito el de proponer un procedimiento diferente para el Ordenamiento Territorial OT, basado en la experiencia de trabajador como planificador en diferentes entidades de gobierno y del sector privado en diferentes países de Centro América y México. Se utilizan para ello la combinación de métodos y técnicas utilizadas en la planificación y formulación de proyectos con el apoyo de tecnologías y dispositivos modernos; además, cumple con los protocolos de la investigación aprobados por el programa de Doctorado en Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, definiéndose con métodos multimodales El objetivo general es el enunciado claro y preciso por el cual se lleva a cabo la investigación, con el uso de un método de paisaje para el ordenamiento territorial con enfoque ambiental; utilizando para ello, unidades territoriales, unidades ecológicas, unidades ambientales y unidades de paisaje, los cuales se aplican a manera de ejemplo en cuatro diferentes ambientes naturales,



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

rurales y urbanos del territorio de la república de Guatemala para un total de ocho espacios físicos, analizados, evaluados; urbanos y rurales, partiendo de diferentes condiciones físico ambientales.

Reflexiones/consideraciones preliminares

En la primera parte de la tesis se desarrollan los contenidos propios de la investigación conforme a la estructura del Método Científico (los elementos básicos del método científico son: conceptos, definiciones, teorías, hipótesis, objetivos, antecedentes, contexto – realidad social) y en la segunda parte se presentan ocho capítulos con temas complementarios que sustentan la demostración de la hipótesis y los supuestos de la investigación; así como la propuesta de solución. Destaca dentro de la problemática los cambios que a través de la historia ha experimentado el territorio de la república de Guatemala; la dinámica que es afectada por las demandas de los mercados de consumo inmobiliario y por los satisfactores físico-territoriales de la población guatemalteca, así como las políticas de los diferentes gobiernos de turno. Actualmente los problemas sobre el territorio son muchos y se agudizan con el incremento de la población, la falta de directrices espaciales por parte del estado, gobiernos locales y sector privado.

Referencias

Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, C., Cirio, G., & Arrivillaga, N. (2008). Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos: Aplicación a un caso en Guatemala. *Revista Universitaria de Geografía*, 17(1), 189-231. <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239098008.pdf>

Camino Dorta, J., Gimeno Ortiz, M., & Ramón Ojeda, A. A. (2014). Las unidades ambientales homogéneas como herramienta para la ordenación territorial y la caracterización de litorales áridos. *Vegueta: Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/12821/1/0234500_00014_0009.pdf

Castillo, F., García, J., López, A., & Celada, M. (2013). *Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala*. Informe final. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/informes2012/INF-2012-36.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal] (2013). *Islas de calor urbano*. https://geoportal.cepal.org/layers/geonode_data:geonode:Urban_Heat_Island__UHI_

Godínez Orantes, R. (2020). *Ordenamiento territorial por el método de paisaje mediante el establecimiento de unidades ambientales en áreas urbanas y rurales de Guatemala*. [Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://drive.google.com/file/d/1gW5pKR3lsMKrlgS3ymBA9b2VdZ9H3S9a/view>

Polo, J. J. G., Cabrera, F. J. C., & Vega, J. J. (2016). Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1), 65-79. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2013-33.pdf>

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

17 Vinculación

Para la elaboración de esta propuesta se conversó con el Dr. Javier Quiñonez, actual Conservador de la Antigua Guatemala. Dicha reunión se realizó el día 17 de abril del presente año con la finalidad de establecer las necesidades del Municipio de Antigua Guatemala, en torno a su ordenamiento territorial y conservación de su riqueza natural. Es de mencionar el hecho de que, si bien no se obtuvo una vinculación oficial interinstitucional, al tenerse terminada la presente investigación, se cuenta con el ofrecimiento verbal de apoyo por parte del Señor Conservador para brindar apoyo en el proceso de divulgación de los productos finales de la misma. Asimismo, se tiene contactó a la alcaldía auxiliar de San Mateo Milpas Altas, aldea del Municipio de Antigua Guatemala, para presentar la solicitud de permiso correspondiente para el sobrevuelo con dron para la mencionada región, comprendida dentro del polígono de incidencia.

18 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual



Debido a la emergencia sanitaria actual, las disposiciones del Consejo Superior Universitario de la Universidad de San Carlos de Guatemala y ante la incertidumbre sobre las condiciones laborales y sanitarias a corto y mediano plazo, no se considera prudente el planificar actividades presenciales para la divulgación de los resultados obtenidos en la presente investigación. Por lo anterior la estrategia de divulgación de los mismos consistirá en la realización de actividades virtuales organizadas con apoyo de la Dirección General de Investigación/Usac, el Centro de Estudios Urbanos y Regionales, el Consejo Nacional de Protección de la Antigua Guatemala, la Municipalidad de Antigua Guatemala y otras instituciones relacionadas. Así como su publicación en revistas indizadas tanto de la Usac como de otras entidades, ya sea de manera impresa en físico o por documentos digitales.

19 Aporte de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Los resultados de la investigación contribuyen al alcance de la Prioridad Nacional de Desarrollo “Ordenamiento Territorial”, Meta E4P5M1: El 100% de los municipios cuenta con planes de ordenamiento territorial integral que se implementan satisfactoriamente, Inciso: P10.a Porcentaje de municipios que están implementando PDM-OT. En cuanto a que las ciudades y otros conglomerados urbanos humanos sean inclusivos, seguros y resilientes; proporcionando acceso a condiciones dignas de vida, fuentes de trabajo y un entorno arquitectónico y ambiental adecuados. Por ello, se planteó el redefinir los polígonos de urbanización y áreas verdes de la región Noreste del municipio, para proponer alternativas de planificación del territorio con base en los usos de suelo que contribuyan a ampliar el ámbito de intervención de las autoridades municipales actuales y futuras, tomando en cuenta los resultados del eleccionario del presente año, tanto para el mejor ordenamiento del municipio como para la generación de reformas y nuevas propuestas de ley. Así como el promover en el mediano y largo plazo nuevas áreas, tanto municipales como privadas, para servicios ambientales y sitios de interés turístico, recreativo y ecológico que promuevan una sociedad ambientalmente sensible.


Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

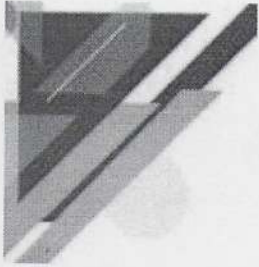
20 Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Ronald Mynor Peláez Sánchez	Coordinador	20120346	Si	
Nathalie Andrea Duarte Castañeda	Investigadora	20230940	Si	

21 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.


<p>Ronald Mynor Peláez Sánchez Coordinador del proyecto de investigación</p>	 Firma
<p>Fecha: 29/11/2023</p>	



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

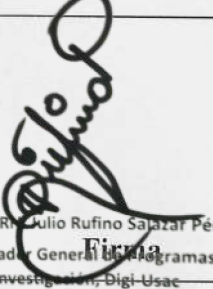
21 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto Evaluación del impacto de la urbanización y el cambio climático en las áreas verdes del sector Noreste de Antigua Guatemala, en mi calidad de Directora interina del Centro de Estudios Urbanos y Regionales, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p>Vo. Bo. Dra. Amanda Morán Mérida Directora a.i. Centro de Estudios Urbanos y Regionales</p>	 Firma
<p>Fecha: 29/11/2023</p>	

22 Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo. Bo. M. Sc. Andrea Rodas Morán Coordinadora Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente</p>	 Firma
<p>Fecha: 29/11/2023</p>	

<p>Vo. Bo. MARN Ing. Agr. Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</p>	 Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac Firma
<p>Fecha: 29/11/2023</p>	



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

DG Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

*“La Usac investiga para el
bienestar de las personas
y el desarrollo sustentable”*

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

/Digi2023