

**Universidad San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado
Ingeniería Forestal**



Tesis:

Estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020:

Realizado en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

Por:

VÍCTOR HUGO DE LEÓN TZUL

Carné 201340485

Asesor. M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz

Totonicapán, Guatemala, mayo de 2021



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR EN FUNCIONES:

Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
TOTONICAPÁN:**

Nombre	Representante de Facultad o Colegio
M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval	Director
Ing. Erick Rocaél de León Guzmán	Secretario del Consejo Directivo
Dr. Julián Alejandro Saquimux Canastuj	Representante Docente de la Facultad de Ciencias Médicas
Dr. Juan Carlos Godínez Rodríguez	Representante Profesional del Colegio de Abogados y Notarios de Guatemala
Srta. Valeska Jimena Contreras Paz	Representante Estudiantil de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Sr. Erwin Esteban Molina Díaz	Representante Estudiantil de la Facultad de Ciencias Económicas

AUTORIDADES DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN

DIRECTOR:

M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

PLANIFICADOR ACADÉMICO:

Ing. Erick Rocaél de León Guzmán

COORDINADOR ACADÉMICO:

Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez

COORDINADOR DE LA CARRERA:

Ing. José Antonio Palacios Gil

COORDINADORA DEL DEPS

Licda. Fabiana Camila Tzul de Alvarado



Ref. D-I.MA.-CHAS/ING.FORESTAL/CUNTOTO

Número 001-2021

El Director del Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de aprobación con referencia No. TESIS/No. 06-2021 **COORDINACIÓN ACADÉMICA**, emitido por el Coordinador Académico del Centro Universitario de Totonicapán el Licenciado Arnoldo René Castañón Ramírez, al informe final de tesis presentado por el estudiante universitario **VÍCTOR HUGO DE LEÓN TZUL**, registro académico No. **201340485**, trabajo titulado **“Estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020: Realizado en el municipio de Momostenango, Totonicapán”**, de la Carrera de Ingeniería Forestal, para lo cual esta dirección **AUTORIZA** a impresión de cinco (5) ejemplares del mismo y una (1) copia en digital (CD) del trabajo anteriormente descrito, mismos que deben entregarse a donde corresponde.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.

Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

Director

Centro Universitario de Totonicapán



C.c. Archivo

**DICTAMEN TESIS/No. 06-2021
COORDINACIÓN ACADÉMICA**

Ing. Carlos Aroche Sandoval
Director
Centro Universitario de Totonicapán

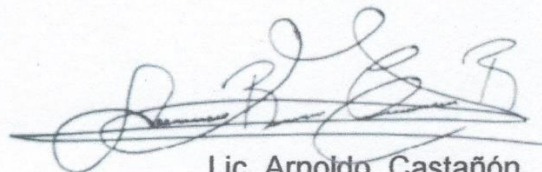
Respetable Ing. Aroche.

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se tuvo a la vista el dictamen de aprobación del **INFORME FINAL DE TESIS** del estudiante **VÍCTOR HUGO DE LEÓN TZUL**, registro académico No. **201340485**, titulado “Estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020: Realizado en el municipio de Momostenango, Totonicapán”, de la Carrera de Ingeniería Forestal, emitido por la Licda. Fabiana Camila Tzul, Coordinadora del Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado CUNTOTO, con referencia Oficio No 79-2021 Ref.FCT/c, de fecha 14 de mayo de 2,021, así mismo, se presentó el dictamen de revisión de la jefatura de la Biblioteca, con referencia Oficio Ref. No. Tesis/06-2021 de fecha 20 de mayo de 2,021, donde se informa que se ha cumplido con “observaciones en redacción y estilo que deben estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala”, por lo cual se emite **DICTAMEN FAVORABLE** al trabajo mencionado.

Por lo expuesto se solicita emisión de Dictamen para impresión del Informe final de Tesis del estudiante **VÍCTOR HUGO DE LEÓN TZUL**.

Y para los usos que al interesado convenga, se extiende, firma y sella el presente a los veintiún días del mes de mayo de 2,021.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.



Lic. Arnoldo Castañón
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán



Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán

Respetable Licenciado

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se presentó a la jefatura de esta Biblioteca la revisión del informe final de **TESIS** del (la) estudiante: **VÍCTOR HUGO DE LEÓN TZUL**, registro académico No. **201340485**, el cual está titulado como: "Estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020: Realizado en el municipio de Momostenango, Totonicapán" y el que contara con la asesoría, revisión y aprobación del (la) M.Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz.

Al mencionado informe se le efectuó observaciones en redacción y estilo que deben de estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala, las mismas fueron atendidas por el (la) estudiante, por lo que solicito a usted pueda emitir el **DICTAMEN FAVORABLE** para que éste (a) pueda continuar con las gestiones previas a su graduación.

Sin otro particular muy atentamente.

f) _____

Bib. Mario Santiago Pérez



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dedicatoria a

- Dios** Por ser la luz de mi camino, mi guía de vida, mi pilar fundamental en todo momento para alcanzar mis logros que son el resultado de sus bendiciones, porque el señor da la sabiduría, conocimiento y ciencia brotan de sus labios.
- Mi padre** Por su apoyo incondicional, por darme lo mejor de sí para que mi educación llegara a este nivel, por todos sus consejos que me han conducido a lograr mis metas.
- Mi madre** Porque ha sido incondicional en el proceso de mi preparación académica y cada día me forja a seguir adelante, una gran mujer que ha sido mi guía en las diferentes etapas de mi vida, sus enseñanzas me han ayudado a perseverar y a alcanzar mis metas de vida.
- Mis hermanos** Han sido fundamentales en el proceso de mi preparación académica. Por sus motivaciones, apoyo y aprecio que me han ayudado a continuar logrando triunfos.
- Mi cuñada y sobrino** Por brindarme su apoyo, cariño y palabras de ánimo para seguir perseverando en mis metas.
- Mis tíos y tías** Por formar parte de mi familia, sus consejos y palabras de ánimo me han ayudado a continuar cumpliendo mis propósitos.

Agradecimiento

- A Dios quien en todo momento estuvo conmigo forjando mi camino, me cedió fortaleza, sabiduría y entendimiento para poder alcanzar mis metas.
- A Mis padres que me han apoyado incondicionalmente en las diferentes etapas de mi vida, con sus ejemplos y consejos me han inculcado valores que me han confortado a seguir adelante.
- A Mis hermanos, por apoyarme y motivarme en diferentes circunstancias en las que he vivido y superado, por su cariño, aprecio.
- Al Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala por ser mi casa de estudios que me permitió formarme como profesional, adquiriendo en las aulas el conocimiento y principios éticos.
- A M.Sc. Ingeniero, Armando Enrique Batz Batz, por sus conocimientos brindados como profesor y asesor en los diferentes procesos de mi formación profesional.
- A Docentes de la carrera de ingeniería forestal del Centro Universitario de Totonicapán por compartir sus conocimientos en el proceso de mi formación académica.
- A Mis amigos del mismo ámbito profesional que me brindaron apoyo en determinados procesos de la presente investigación.

Índice general

Contenido	Páginas
Dedicatoria a	7
Agradecimiento.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras	14
Resumen	17
Abstract	18
Ch'uti'nsanem	19
Introducción	20
Capítulo I	22
1.1. Marco contextual	22
1.1.1. Ubicación.....	22
1.1.2. Colindancias	22
1.1.3. Estructura espacial o distribución actual	22
1.1.4. Población.....	23
1.1.5. Sistema de carreteras y caminos	23
1.1.6. Síntesis dimensión social	24
1.1.7. Recursos ambientales	24
1.2. Antecedentes.....	30
1.3. Marco teórico.....	47
1.3.1. Origen de la teledetección	47
1.3.2. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.....	47
1.3.3. Teledetección aplicada a estudios de vegetación	48
1.3.4. Tratamiento digital de imágenes.....	49
1.3.5. Imágenes Landsat.....	49
1.3.6. Análisis multitemporal.....	49
1.3.7. Procesamiento, interpretación y comparación de imágenes por satélite	50
1.3.8. Procesamiento Digital de Imágenes (PDI).....	50
1.3.8. Interpretación de imágenes de satélite	54
1.3.9. Clasificación digital de imágenes.....	54

1.3.10. Sensores remotos	56
1.3.11. Tipos de sensores remotos	57
1.3.12. Características de los sensores remotos.....	57
1.3.13. Resolución de los sensores remotos.....	58
1.3.14. Zonificación forestal.....	62
1.3.15. Cobertura y uso de la tierra	63
1.3.16. Clasificación de las coberturas y uso de la tierra.....	64
1.3.17. Cuantificar y espacializar.....	65
1.3.18. Usos de los sistemas de información geográfica para el control, monitoreo y planificación.....	65
1.3.19. Actividades antropogénicas que causan la degradación de la cobertura forestal.....	68
1.3.20. Efectos antropogénicos que producen los problemas ambientales en el ámbito forestal.....	70
1.4. Marco Legal	74
Capítulo II	86
2.1. Planteamiento del problema	86
2.2. Objetivos.....	88
2.2.1. Objetivo general	88
2.2.2. Objetivos específicos.....	88
2.3. Hipótesis.....	88
2.3.1. Hipótesis Nula	88
2.3.2. Hipótesis Alternativa	89
2.4. Variables.....	89
2.4.1. Definición conceptual de variable	89
2.4.2. Operacionalización de variables.....	92
2.5. Alcances	94
2.5.1. Geográfico.....	94
2.5.2. Social.....	94
2.5.3. Temporal	94
2.6. Límites	95
2.6.1. Financieros	95

	11
2.6.2. Geográfico	95
2.6.3. Social.....	95
2.7. Aportes	95
2.7.1. Técnico.....	95
2.7.2. Social.....	95
2.7.3. Profesional.....	96
Capítulo III	97
3.1. Metodología.....	97
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	97
3.1.2. Tipo de investigación.....	97
3.1.3. Método	98
3.1.4. Técnicas e instrumentos.....	98
3.1.5. Muestreo.....	100
3.1.5.3. <i>Criterios de aplicación</i>	102
3.1.6. Etapas de Ejecución de Proyecto.....	103
3.2. Recursos	116
3.2.1. Recurso humano	116
3.2.2 Recurso físico.....	118
3.2.3. Tabla 9. Recurso Económico.....	120
3.2.4. Tabla 10. Cronograma de actividades.....	121
Capítulo IV	122
4.1. Resultados.....	122
4.1.1. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2013... 122	122
4.1.2. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2014.... 128	128
4.1.3. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2015.... 133	133
4.1.4. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2016 138	138
4.1.5. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2017.... 143	143
4.1.6. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2018.... 148	148
4.1.7. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2019.... 153	153
4.1.8. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2020.... 158	158
4.1.9. Dinámica de la cobertura forestal	165
4.1.10. Resultados de las entrevistas.....	166

	12
4.2. Comprobación de hipótesis	173
4.2.1. Variables.....	173
4.2.2. Hipótesis alternativa aceptada.....	175
4.3. Discusión de resultados.....	176
Conclusiones	178
Recomendaciones.....	180
Referencias bibliográficas.....	182
Glosario	186
Apéndices.....	188

Índice de tablas

Contenido	Páginas
Tabla 1. Listado de especies dominantes en el municipio de Momostenango	27
Tabla 2. Listado de especies frutales dominantes en el municipio de Momostenango .	27
Tabla 3. Variable independiente y dependiente e indicadores y subindicadores.....	89
Tabla 4. Operacionalización de variables de la investigación.....	92
Tabla 8. Cuadro de clasificación de cobertura.....	101
Tabla 5. Criterios de clasificación de cobertura para el municipio de Momostenango.	109
Tabla 6. Fechas exactas de imágenes satelitales LANDSAT 8 descargadas y utilizadas para cada año de estudio.	110
Tabla 7. Coordenadas de los puntos de control utilizados para el proceso de validación de los resultados del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales realizados por cada año para el municipio de Momostenango.	112
Tabla 11. Área de coberturas por categoría del municipio de Momostenango, Totonicapán del año 2013.	122
Tabla 12. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2013.	124
Tabla 13. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2014.....	128
Tabla 14. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2014.	130

Tabla 15. Área de cobertura por categoría del municipio Momostenango del año 2015.	133
Tabla 16. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2015.	135
Tabla 17. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2016.....	138
Tabla 18. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2016.	140
Tabla 19. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2017.....	143
Tabla 20. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2017.	145
Tabla 21. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2018.....	148
Tabla 22. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2018.	150
Tabla 23. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2019.....	153
Tabla 24. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2019.	155
Tabla 25. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2020.....	158
Tabla 26. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2020.	160
Tabla 27. Cobertura por categoría para cada año analizado para el municipio de Momostenango.....	163
Tabla 28. Cobertura forestal estimada para cada año del municipio de Momostenango.	164
Tabla 29. Especies predominando del municipio de Momostenango	167
Tabla 30. Análisis de varianza para la prueba de hipótesis.....	175
Tabla 31. Observación por inmersión.....	189
Tabla 32. Descripción de los SIG utilizados.	190

Índice de figuras

Contenido	Páginas
Figura 1. Población total de Momostenango Totonicapán.....	23
Figura 2. Mapa de Capacidad de Uso del Suelo de la Región Occidente.	26
Figura 3. Ejemplo de imágenes satelitales de sensores remotos.....	52
Figura 4. Ejemplo de Combinaciones RGB de imágenes satélite Landsat y Sentinel. ..	53
Figura 5. Procesamiento de imágenes satelitales (Sensores remotos).....	56
Figura 6. Componentes de los sensores remotos	58
Figura 7. Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada.....	61
Figura 14. Ejemplo del procesamiento de toma de muestras por cobertura de acuerdo a las categorías de clasificación.	101
Figura 8. Proceso de selección y descarga de imágenes satelitales LANDSAT 8 desde el software del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).....	104
Figura 9. Ejemplares de imágenes satelitales de LANDSAT 8, bandas 5, 6 y 4 descargadas Correspondientes al año 2020.	106
Figura 10. Combinación de bandas espectrales 5, 6 y 4 como parte del procesamiento de las imágenes satelitales para el año 2020 para la identificación de coberturas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.	108
Figura 11. Asignación de colores y códigos a cada valor (cobertura), para el proceso de clasificación supervisada y toma de muestras.....	109
Figura 12. Shape de puntos de control utilizado para el proceso de validación de los resultados del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales realizados por año para el Municipio de Momostenango.	111
Figura 13. Diagrama de flujo para el procesamiento de imágenes satelitales.	116
Figura 15. Mapa de cobertura por categorías del año 2013 del municipio de Momostenango.....	123
Figura 16. Porcentaje de cobertura por categoría.	125
Figura 17. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2013.	127

Figura 18. Mapa de cobertura por categorías del año 2014 del municipio de Momostenango.....	129
Figura 19. Porcentaje de cobertura por categoría.	130
Figura 20. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2014.	132
Figura 21. Mapa de cobertura por categorías del año 2015 del municipio de Momostenango.....	134
Figura 22. Porcentaje de cobertura por categoría.	135
Figura 23. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2015.	137
Figura 24. Mapa de cobertura por categoría del año 2016 del municipio de Momostenango.....	139
Figura 25. Porcentaje de cobertura por categoría.	140
Figura 26. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2016.	142
Figura 27. Mapa de cobertura por categoría del año 2017 del municipio de Momostenango.....	144
Figura 28. Porcentaje de cobertura por categoría.	145
Figura 29. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2017.	147
Figura 30. Mapa de cobertura por categoría del año 2018 del municipio de Momostenango.....	149
Figura 31. Porcentaje de cobertura por categoría.	150
Figura 32. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2018.	152
Figura 33. Mapa de cobertura por categoría del año 2019 del municipio de Momostenango.....	154
Figura 34. Porcentaje de cobertura por categoría.	155
Figura 35. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2019.	157
Figura 36. Mapa de cobertura por categoría del año 2020 del municipio de Momostenango.....	159

Figura 37. Porcentaje de cobertura por categoría.	160
Figura 38: Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2020.	162
Figura 39. Cobertura por categoría para cada año analizado.	163
Figura 40. Tendencia de la cobertura forestal estimada en cada año.	164
Figura 42. Coordinación de salidas para la evaluación de puntos de control y realización de entrevistas con el apoyo de personal de la UGAM Momostenango.	191
Figura 43. Salidas de campo para la evaluación de puntos de control.	191
Figura 44. Identificación de áreas con cobertura forestal de acuerdo a puntos de control.	192
Figura 45. Identificación de áreas clasificadas en la categoría de arbustos matorrales.	192
Figura 46. Identificación de áreas clasificadas en la categoría de infraestructura y centros de población.	193
Figura 47. Identificación de áreas clasificadas dentro de la categoría de cultivo.	193
Figura 48. Zonas de transición entre cultivo y arbustos matorrales.	194
Figura 49. Identificación de área de arbustos matorrales en extensiones muy significativas siendo parte de los límites de Momostenango con San Francisco El alto.	194
Figura 50. Entrevistas realizadas en el caserío Jutacaj, aldea Xequemeya, Momostenango.	195
Figura 51. Entrevista realizada en el paraje Paxmaramac, Momostenango.	195
Figura 52. Entrevista realizada en el caserío Chuinajtajuyup, Momostenango.	196
Figura 53. Bosques del caserío Xepon grande que han sido afectados por el ocoteo.	196
Figura 54. Ejemplos de los impactos negativos que sufren los bosques de la parte norte del municipio de Momostenango por el ocoteo.	197
Figura 55. Extracción de leña ilegal para fines comerciales en el caserío Paxmaramac del municipio de Momostenango.	197

Resumen

La dinámica de la cobertura forestal para el municipio de Momostenango fue evaluado entre los años del 2013 al 2020 a través de datos obtenidos del satélite LANDSAT 8, esto permitió obtener información actualizada sobre el estado de los bosques y los cambios que ha habido por año, con el objetivo que la investigación realizada se utilice como una herramienta para la planificación y ejecución de estrategias ambientales que promuevan la sostenibilidad de los recursos forestales y servicios eco sistémicos de la villa.

Para el análisis de los cambios que han sufrido los bosques se evaluaron cinco categorías (bosque, arbustos matorrales, cultivo, suelo sin cubierta, infraestructura de centros poblados) por lo que la investigación es de carácter mixto porque tomó en cuenta el procesamiento de imágenes satelitales por medio de los software ILWIS y ArcGIS, se determinó el área de cobertura por cada categoría, donde se analizaron todo lo relacionado con el incremento y disminución relativamente, como parte del estudio se trabajaron puntos de validación que corresponden a las coordenadas de proyección GTM (Guatemala Transverse Mercator), de igual manera se utilizaron los instrumentos de la entrevista y observación por inmersión para la determinación de actividades antropogénicas que han afectado la degradación de los recursos forestales.

Los resultados de la investigación determinaron incrementos y pérdidas de cobertura en las cinco categorías analizadas lo cual ha provocado la disminución de la cubierta forestal para el municipio como se presenta a continuación.

Bosque	Cobertura forestal por año (ha)							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	12,897.00	12,888.45	12,880.17	12,883.59	12,882.61	12,872.34	12,863.07	12,859.83

De los resultados sobre la dinámica de los bosques del municipio de Momostenango se estimó un cambio neto de cobertura entre los años analizados de -37.08 hectáreas, con una tasa de cambio de 0.05% de pérdida anual del área total de bosque que se tenía en el año 2013, esto determina una reducción significativa de la masa arbórea.

Palabras clave: Momostenango, Totonicapán. Dinámica de cobertura forestal. Imágenes LANDSAT. Datos raster. Datos vectoriales. Actividades antropogénicas.

Abstract

The dynamics of forest cover for the municipality of Momostenango was evaluated between the years 2013 to 2020 through data obtained from the LANDSAT 8 satellite, this allowed obtaining updated information on the state of the forests and the changes that have occurred per year, with the objective that the research carried out is used as a tool for planning and executing environmental strategies that promote the sustainability of forest resources and eco-systemic services of the town.

For the analysis of the changes that the forests have undergone, five categories were evaluated (forest, scrub shrubs, cultivation, soil without cover, infrastructure of populated centers) so the research is of a mixed nature because it took into account the processing of satellite images. Through the ILWIS and ArcGIS software, the coverage area was determined for each category, where everything related to the relative increase and decrease was analyzed, as part of the study, validation points corresponding to the GTM projection coordinates (Guatemala Transverse Mercator), in the same way, the instruments of the interview and observation by immersion were used to determine anthropogenic activities that have affected the degradation of forest resources.

The results of the investigation determined increases and losses of coverage in the five categories analyzed, which has caused a decrease in forest cover for the municipality as presented below.

Forest	Forest cover per year (ha)							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	12,897.00	12,888.45	12,880.17	12,883.59	12,882.61	12,872.34	12,863.07	12,859.83

From the results on the dynamics of the forests of the municipality of Momostenango, a net change in coverage between the years analyzed was estimated of -37.08 hectares, with a change rate of 0.05% of annual loss of the total forest area that was in the year 2013, this determines a significant reduction in tree mass.

Keywords: Momostenango Totonicapán, Dynamics of forest cover, LANDSAT images, Raster data, Vector data, Anthropogenic activities.

Ch'uti'nsanem

We etz'achak chukumip re taq che'pa ri tinimit Xetzak van etab'anik patak ri junab' 2,0123 al 2020 xubana' wapxaqik' junab' xa rumal sutinel LANSAT 8, xa rumal wa tzukux u chomaxic chech wa wue ij Kujrikita' kamik pai we wokom k'ache'laj we etz'achak ronojel junab', ra rumal le ka'kulunel cholchak banom kekik che chacubal re we cholchak che re ukojik jun teleb'al re tak rojowixik che tak le k'ache'laj xejejnem chalajilabab'al rech we villa.

Rech we uchomaxik we etz'achak re we k'ache'laj van etab'anik job uwechabal (k'ache'laj, b'e'nche', tikonejik, uwachulew ri maj ka rikitaj che') xa ne rumal wa tzukno'jchak xa rumal utzukuxik suche xuk'amo etal q'axal rech le softwares ILWIS y ARGIS, chik ja nok upaib'al chukunik uwechabal junab', jauje chomaxwi ronojel ukamal xi pakiche chuke ri chutinirik re xa ne rumal tzukno'j chak, jas ne' ri choltijenem van chakunem nak' ko moncha'om jas toqow reteb'al kajulew re ch'ob'ot'al chak GTM (Paxil Kayala' Transverse Mercator) xa re rumal k'ulunel u rik'otijoxik chupam ri taq'aj juyup' ri uminakil rix rikitaj pa ri kaxom, xaq ku junam xokizax chakunib'al ri k'otojtzij chuke ri ka'yenik chupam rech ri chak chuqe kamutinem antropogénicas jas ri ubamon cha tak ri rojowixik' che taq ri k'ache'laj.

Ri riq'itaj che ri tzukno'jchak chomaxik paq'ik y van tzaqaniq che ri uchopam pai job uwachibal chomaxik rech ri tinimit Xetzak, pa ri junab' 2013 riq'itaj 12,897 nimak taq ulew, junab' 2014 xu ya 12,888.45 nimak taq ulew, junab' 2015 xu ya 12,880.17 nimaq taq ulew, junab' 2016 xu ya 12,883.59 nimak taq ulew, 2017 xu ya 12,882.61 nimaq taq ulew, junab' 2018 xu ya 12,872.34 nimak taq ulew, junab' 2019 xu ya 12,863.07 nimaq taq ulew, junab' 2020 xu ya 12,859.83 ulew k'ache'laj jawi xi wi jun jal wachinem eb'eyal pa ri junab' 2020 are wa 12,859.83 kuban le kabix che' el 35.81% are wa uqajb'al rech ri tinimit xu ya 35,915.83 nimaq taq ulew are wa ru ku ya pa ri junab' 2013 y 2020 ku ya 31.08 nimaq taq ulew ko jun jal wachinem re ri 0.05% re tzakomanejik junab' par i uqajb'al ri ku ya che ri k'ache'laj pa ri junab' 2013 are wa quya tzakomanejik re taq che pa ri k'ache'laj.

Q'alajisan tzij: Chotz'aq, Chwimeq'ena, etz'achak chukumip re taq che', Wachib'al LANDSAT, Cholajil raster, Cholajil vectoriales, Kb'antaj Cho'qinaq chi.

Introducción

La cubierta de la superficie terrestre ha sido un indicador de calidad en los ecosistemas según los objetivos de desarrollo sostenible acordados por las Naciones Unidas, por lo que la variación de la masa arbórea reflejan cambios en la demanda de tierras para otros usos que pueden contribuir a la determinación de prácticas no sostenibles en el sector ambiental, por ello entonces como herramienta de planificación y gestión para la toma de decisiones en el marco del manejo forestal adecuado se ha generado en los últimos años para el país de Guatemala la representación gráfica de la cobertura de la tierra a través de datos provenientes de sensores remotos, esto ha permitido impulsar iniciativas técnicas y políticas enmarcadas en la dinámica de los bosques a nivel nacional.

El presente investigación enfatiza los cambios de la cobertura forestal para el municipio de Momostenango entre los años 2013 al 2020 utilizando de base la información proporcionada del satélite LANDSAT 8, los datos generados son de gran importancia debido a que a través del procesamiento de imágenes satelitales fueron actualizados el estado de los bosques y su dinámica, los cuales servirá como una herramienta fundamental en pro de la planificación y ejecución de proyectos que van en beneficio a la sostenibilidad de los recursos forestales y servicios eco sistémicos para el territorio municipal.

Esta investigación se divide por capítulos cómo se describen a continuación.

El Capítulo I describe el marco contextual del lugar donde fue realizado la investigación lo cual radica en el municipio de Momostenango, Totonicapán, resaltando información sobre el contexto geográfico, clima, ubicación del territorio municipal, de igual manera se hace mención del sistema biofísico, climatológico, edafológico, topográficos y de los recursos naturales que se encuentran en el área de estudio.

De la misma manera se detallan antecedentes citados con relación a la investigación, nacionales e internacionales que han sido aporte fundamental en el campo forestal, se encuentra también el marco teórico donde se describen conceptos y definiciones relacionados con la importancia de los SIG para el análisis de los bosques

y por último se hace mención del marco legal en la que se dan a conocer decretos, políticas y artículos de las principales leyes concurrentes al tema, todo ello con el objetivo de fundamentar y sustentar la parte técnica y legal del presente estudio.

El Capítulo II presenta el planteamiento del problema en el que se describe de forma narrativa la realidad del municipio de Momostenango con énfasis en el ámbito forestal de lo cual se realizó el trabajo, se resaltan el objetivo general y los específicos haciendo mención de los resultados que se obtuvieron, de igual manera la hipótesis nula y la alternativa, este a su vez detalla las variables dependientes e independientes con sus respectivas definiciones y operacionalización con base en los objetivos, los alcances obtenidos de la investigación en los ámbitos geográfico, social y temporal. Los límites del estudio, financiero, geográfico y social, además se definen los aportes concretizados desde el aspecto técnico, social y profesional.

En el Capítulo III se muestran los procedimientos empleados para la ejecución del estudio donde se da a conocer el enfoque y el tipo de investigación a la que se adecua, la metodología utilizada, las técnicas e instrumentos y el método de muestreo utilizado para la obtención de datos, todo ello fue concretizado partiendo de criterios técnicos de la información que se requirió para alcanzar los objetivos tanto generales como específicos.

El Capítulo IV detalla información obtenida por medio de la ejecución del estudio a través de la aplicación de la metodología definida en el cuerpo del informe, donde se obtuvo como producto los cambios que han sufrido los bosques del municipio de Momostenango, resaltando el tema de investigación sobre la dinámica de la cobertura forestal para herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020, se presenta de igual manera la comprobación de la hipótesis con los datos obtenidos, la discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

Capítulo I

1.1. Marco contextual

1.1.1. Ubicación

El municipio de Momostenango, se ubica al norte del departamento de Totonicapán, y este a su vez pertenece a la Región VI suroccidente del país de Guatemala, a una altura de 2,204 metros sobre el nivel del mar, con latitud norte de 15° 02" 40" y una longitud oeste de 91° 24" 30". Dista a 36 kilómetros (km) de la cabecera departamental y a 208 km de la ciudad capital, por carretera asfaltada, (PDM-Momostenango, 2010).

1.1.2. Colindancias

Limita al norte con los municipios de San Carlos Sija del departamento de Quetzaltenango, San Bartolo Aguas Calientes y Santa Lucía La Reforma del departamento de Totonicapán; al sur con los municipios de Totonicapán y San Francisco El Alto del departamento de Totonicapán; al este con los municipios de San Antonio Ilostenango del departamento del Quiché, Santa Lucía La Reforma y Santa María Chiquimula del departamento de Totonicapán; oeste con los municipios de Cabricán y San Carlos Sija del departamento de Quetzaltenango (PDM-Momostenango, 2010).

1.1.3. Estructura espacial o distribución actual

Actualmente no existe micro regionalización en el municipio. La división política administrativa de Momostenango incluye a la cabecera municipal que tiene categoría de pueblo con cuatro barrios: Santa Ana, Santa Isabel, Patizité y Santa Catarina; trece aldeas: Xequemeyá, Xolajap, Chinimabé, Tierra Colorada, Los Cipreses, San Antonio Pasajoc, San Vicente Buenabaj, Tierra Blanca, Nicajá, Tunayac, Tzanjon, Patulup y Santa Ana; diez caseríos: Jutacaj, Canquixajá, Pancá, Rachoquel, Pueblo Viejo, San José Sigüilla, Chonimatux, Chuiabaj, Xeabaj, y Chojonacruz, y; dos parajes: Pamumus y Chicorral (PDM-Momostenango, 2010).

1.1.4. Población

Según el XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, (INE). En el año 2002, el municipio de Momostenango tenía una población de 87,340 habitantes, 41,576 hombres (47.6%) y 45,764 (52.4%) mujeres, ver figura 1.

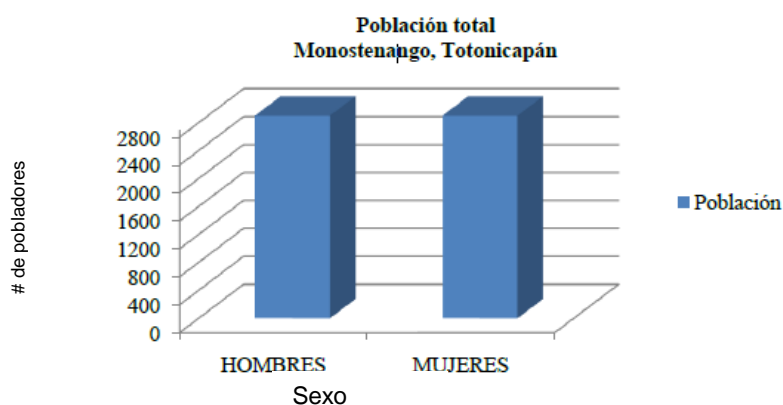


Figura 1. Población total de Momostenango Totonicapán

Fuente. Instituto Nacional de Estadística (INE), año 2002

El municipio se caracteriza porque la mayor parte de su población radica en el área rural, aunque más dispersa que en el casco urbano. A su vez se tiene que el municipio es uno de los más grandes en relación con los otros que conforman el departamento, cuenta con 305 kilómetros cuadrados (km²) y con una densidad poblacional de 286 habitantes por km² (proyecciones del Censo 2002 del INE), lo que implica que se piense en atender de manera distinta la dotación de servicios básicos y la satisfacción del conjunto de necesidades.

1.1.5. Sistema de carreteras y caminos

La ubicación del municipio resulta estratégica porque a pesar de no contar con suficiente infraestructura propia, la cercanía de algunos centros poblados a la carretera interamericana le facilita la comunicación con ese departamento. Las principales vías de comunicación del centro de Momostenango hacia sus comunidades, está centrado en las siguientes vías: centro de Momostenango hacia San Francisco El Alto, vía la carretera asfaltada o el Paraje Pasuc; centro de Momostenango hacia Xolajap, vía

Pueblo Viejo o vía Santa Ana; carretera hacia Rancho de Teja vía Pamumus; centro de Momostenango hacia Santa María Chiquimula, vía Rancho; centro de Momostenango hacia Santa Lucía la Reforma, vía Xequemeyá; carretera hacia Santa Lucía la Reforma, vía Canquixajá.

La información recabada es que la frecuencia mayor de rutas de transporte se da en la carretera asfaltada hacia San Francisco El Alto, saliendo transporte público casi cada 30 minutos, siendo este servicio cubierto por microbuses y camionetas. En las otras rutas el tiempo de conectividad es mucho mayor y dependiente del día. Como se mencionó anteriormente, la localización de algunas comunidades da mucha fluidez a la comunicación entre estas, siendo este el caso de las comunidades ubicadas sobre la carretera interamericana, como Pologua, Tzanjón, Pitzal y Tierra Blanca (SEGEPLAN, 2009).

1.1.6. Síntesis dimensión social

Las principales características de la población del municipio es que la gran mayoría pertenece a la comunidad lingüística maya K'iche', cerca del 99%; su distribución en el territorio ha venido cambiando, cada vez se ubica una mayor proporción en el área urbana, 30%; mayoritariamente es una población joven, 58% es menor de 20 años; con la presencia de una proporción mayor de mujeres, alrededor del 52.4% son mujeres, (SEGEPLAN, 2009).

1.1.7. Recursos ambientales

1.1.7.1. Suelos

De acuerdo a la clasificación elaborada por Simmons, los suelos que se localizan en el municipio son de las series Quiché, Sinaché, Totonicapán, Camanchá erosionado y Camanchá predomina en el territorio: según el MAGA, corresponde al municipio las series de suelos siguientes: Tp = Totonicapán; Pz = Patzité; Si = Sinaché y Qi = Quiché.

La asociación de bosques mixtos y cultivos; coníferas y cultivos, y algunas partes del área no cuentan con cobertura forestal o son bosque mixto (MAGA, 2004).

1.1.7.2. Vocación de suelos

De acuerdo a la clasificación de suelos del Departamento de los Estados Unidos de América (USDA), el municipio cuenta únicamente con dos clases respectivamente, clase IV suelos que pueden ser utilizados para fines agrícolas, pero deben incluirse técnicas de manejo y no ser objeto de mecanización, y la clase VII suelos principalmente para la producción y protección de bosques, teniendo que esta clase abarca el 99% del territorio del municipio.

De esa cuenta, notamos que de las 35,386.22 ha que componen el municipio, el uso que actualmente se está dando al suelo, es 18.68% para la producción de granos básicos; 34.63% es de bosque mixto; 17.55% bosque conífero; 28.78% son arbustos matorrales, y; 0.36% está dedicado a la infraestructura de los centros poblados (MAGA, 2004).

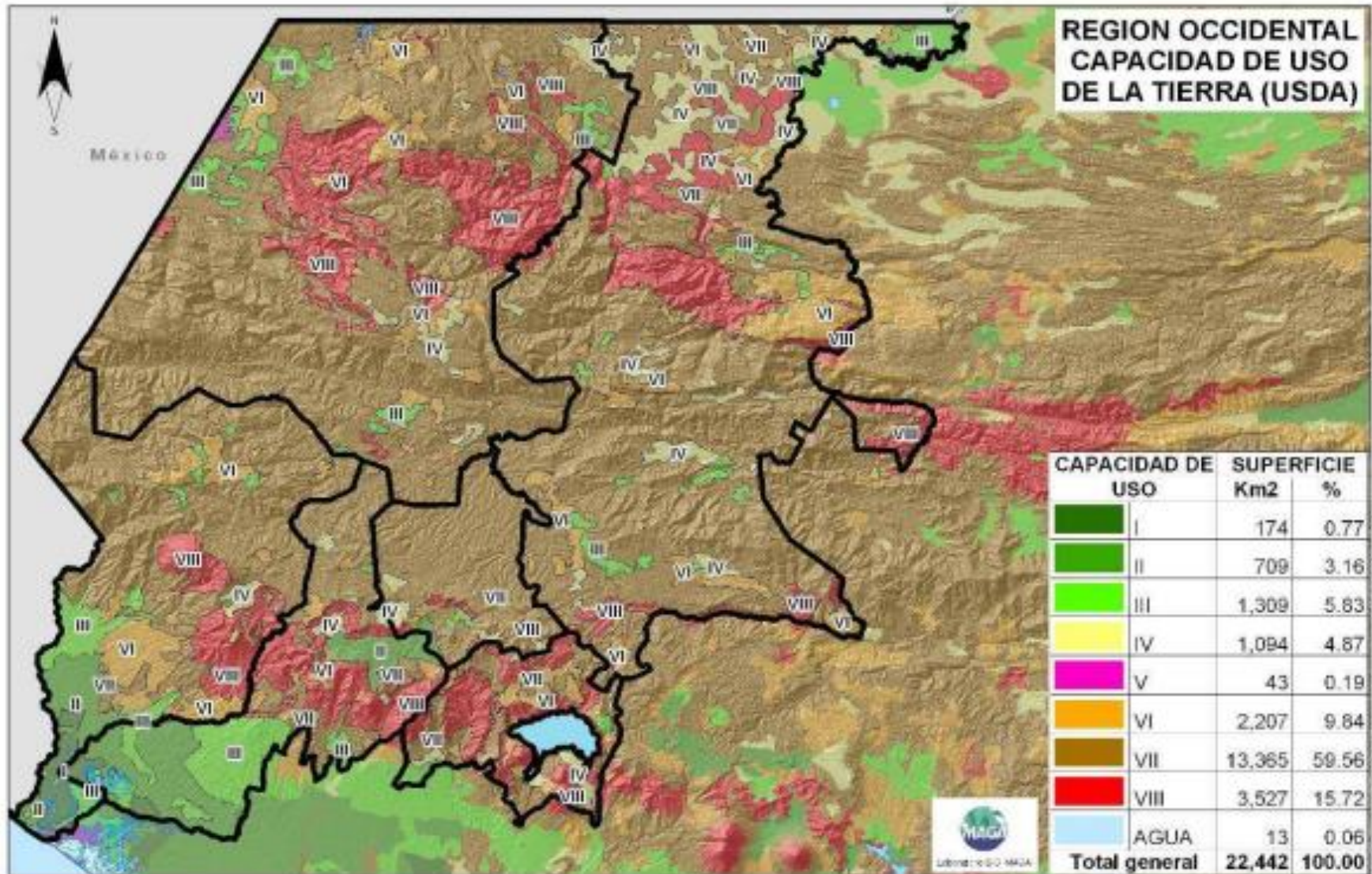


Figura 2. Mapa de Capacidad de Uso del Suelo de la Región Occidente.

Fuente. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, (MAGA, 2004).

1.1.7.3. Flora y fauna

El municipio se caracteriza por su rica biodiversidad tanto de flora como de fauna. En relación con la flora característica se tiene que existen bosques mixtos y de coníferas. Entre las especies arbóreas sobresalientes están:

Tabla 1. Listado de especies dominantes en el municipio de Momostenango

Nombre Común	Nombre Científico	Familia
Especies arbóreas		
Pino blanco	<i>Pinus ayacahuite</i> , Linnaea.	Pinaceae
Pino triste	<i>Pinus pseudostrobus</i> , Lind.	Pinaceae
Ciprés común	<i>Cupressus lusitanica</i> , Mill.	Pinaceae
Encino	<i>Quercus lindley</i> .	Fagaceae
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> , Kunth.	Betulaceae

Fuente: Elaboración Propia, mayo del año 2020

El *Pinus ayacahuite* (Pino blanco) es el más importante como árbol de madera, este es un hermoso ejemplar de pino, con hojas flexibles o colgantes y piñas de tamaño mediano, esta especie ha sufrido un proceso de deforestación. Entre las especies de fauna representativas del lugar están: ardillas, serpientes, aves diversas, coyote, taltuza, tacuazín, rata de monte y tuza.

Tabla 2. Listado de especies frutales dominantes en el municipio de Momostenango

Especies frutales		
Durazno	<i>Prunus persica</i> , L. Stokes.	Rosaceae
Manzano	<i>Malus domestica</i> , Borkh.	Rosaceae
Ciruelo	<i>Prunus domestica</i> , L.	Rosaceae

Fuente: Elaboración Propia, 3 de mayo del año 2020.

1.1.7.4. Clima

En el municipio existen dos zonas de vida de acuerdo a Holdridge: bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical, bmh-MB, y bosque húmedo Montano Bajo Subtropical, bh-MB. La precipitación pluvial anual media difiere en cuatro regiones y se ubica en 700, 800, 1,000 y 1,100 mm al año. Las temperaturas varían en las cuatro zonas del municipio. La primera, en que anualmente prevalece un rango promedio entre 10.5 y 13 grados centígrados; la segunda oscila entre 13 y 15.5 grados centígrados; la tercera varía entre 15.5 y 18 grados centígrados, y; la cuarta entre 18 y 20.5 grados centígrados, teniendo que predomina el clima frío en la mayor parte del territorio (SEGEPLAN, 2009).

1.1.7.5. Gestión Integrada del Recurso Hídrico, (GIRH)

En Momostenango pasan dos cuencas: Cuilco, Salinas y Samalá. En él se observan ríos de limitado caudal y riachuelos. Las microcuencas que abastecen de agua la cabecera municipal son: “Palá Grande” y “Chojoyan”. Palá Grande se forma en el caserío Palá Grande. Entre la aldea Tunayac y el caserío Pueblo Viejo se une con una corriente, origen del río Pachaquejbeyá, latitud. 15°03’12”, 91°27’25”, longitud de 4 kilómetros. Se localizan dentro de la jurisdicción geográfica de Momostenango un número elevado de recursos hidrográficos. Las aguas de estos recursos se desplazan por suelos muy accidentados, lo cual ocasiona la formación de cataratas, entre ellas: Maquichá, Palá Chiquito, Palá Grande, el Barranquito y Pancá (ubicadas al sur de municipio).

Entre los efectos positivos de las cuencas hacia el municipio, es la proporción de servicios ambientales al municipio, aire más limpio por efecto de los bosques. También ayudan a que exista recarga hídrica y las fuentes subterráneas sean abastecidas de agua constantemente, aunque en los últimos años la deforestación ha ido mermando este abastecimiento. Otro efecto positivo para el municipio, es la oferta de leña proveniente de estas cuencas. Igualmente, muchos de los productos agrícolas que son parte de la dieta alimenticia de los pobladores provienen de territorios de las partes altas y bajas de las cuencas.

Entre los aspectos negativos, se puede mencionar la contaminación de los ríos, principalmente por el teñido de la lana y por desechos líquidos y sólidos. Otro impacto negativo de la cuenca, es el efecto de la deforestación en la disponibilidad de agua tanto superficial (nacimientos) y también en el volumen de agua que pueda infiltrarse hacia el manto acuífero. Se hace mención de la deforestación porque influye en la capacidad del suelo de infiltrar el agua de lluvia, provocando que se formen escorrentías fuertes en época de lluvia y se dirija hacia los ríos directamente. Al no haber capacidad de infiltración en el suelo provoca que el nivel del agua en manto acuífero disminuya, repercutiendo en la disponibilidad de agua a través del tiempo en las Aldeas del municipio que se basan principalmente en pozos de captación para abastecerse del vital líquido. Igualmente, otro efecto negativo se da por la expansión agrícola y urbanística, que repercute en la calidad del aire, esto a priori, ya que no se tienen datos estadísticos sobre los daños que provocan al ambiente (SEGEPLAN, 2009).

La principal necesidad que se tiene para implementar acciones concretas para la adaptación al cambio climático y la gestión ambiental en Momostenango es el fortalecimiento de capacidades y recursos humanos. En ese contexto, destaca como oportunidad las potencialidades del municipio para impulsar el pago por servicios ambientales. Igualmente, se visualiza la potencial alianza estratégica entre Organizaciones gubernamentales y Organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales, en la formulación y ejecución de proyectos que velen por la sustentabilidad de los recursos naturales. Del mismo modo, la crisis económica, en los últimos meses ha venido disminuyendo las oportunidades de empleo en otros países y cada vez más viene cerrando oportunidades de desarrollo en actividades comerciales y artesanales, lo que va provocando mayor presión sobre los recursos naturales del municipio.

1.2. Antecedentes

Los estudios realizados referentes al tema de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio, han sido motivo de escudriñamientos para otras personas y que servirán de apoyo al contenido en referencia. En atención a ello, se presentan investigaciones relacionadas con el trabajo de tesis que se abordará.

Instituto Nacional de Bosques (INAB), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Universidad Rafael Landívar (URL), en el año 2004 Publican su segundo informe de investigación para el país titulado “Dinámica de la Cobertura Forestal de la República de Guatemala Años 1991, 1996 y 2001”. Guatemala.

Con el financiamiento de PARPA y en colaboración con CONAP e INAB, fue posible continuar el proyecto de Mapa de Cobertura Forestal de la República de Guatemala, esta vez comparando y analizando la cobertura forestal de los años 1991, 1996 y 2001, para obtener por primera vez para el país, valores medidos de tasas de deforestación y regeneración de cobertura forestal. El mapa impreso se acompaña de un documento de memoria donde se detalla la dinámica forestal a nivel de departamento y de municipio, constituyéndose este documento en información básica para la planificación regional y local para una buena gestión ambiental, (UVG; INAB; CONAP, 2006).

El proyecto se completó en dos fases, la primera con la presentación del mapa de cobertura forestal de Guatemala para el año 2001, publicado en enero del 2004. La segunda fase del estudio se centró en comparar las imágenes del 2001 con imágenes de 1991-93 y 1996 para poder determinar las tasas de cambio de los bosques. la investigación determinó que anualmente entre el año 1991-93 y 2001, el país perdió 73,148 ha de bosque anual, lo que corresponde a una tasa de deforestación de 1.43% anual, partiendo de esto se inició el monitoreo y la actualización de información del presente trabajo para Guatemala a través del manejo de los SIG e información satelital.

Brenda Hivy Ortiz Chour en el año 2008 presenta su Tesis de grado titulada “Análisis del cambio de la cobertura de bosque en las reservas del Departamento de Izabal” ante la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad San Carlos de Guatemala.

Las áreas protegidas se han convertido en el remanente de bosque natural que existe en Guatemala. Su manejo apropiado garantiza la conservación de muestras representativas de biodiversidad, procesos ecológicos, ciclos de vida, protección de suelos y agua. El estudio tuvo como objetivo contribuir a la evaluación del manejo apropiado de las áreas protegidas de Izabal, tomando como indicadores los datos relacionados con el cambio de cobertura de bosque de las áreas. Se revisó información existente sobre tasas de cambio en el departamento y en las siguientes áreas protegidas:

- Parque nacional Río Dulce
- Biotopo Chocón Machacas
- Biotopo conservación de área especial Sierra Santa Cruz
- Área de protección especial Sierra Caral
- Refugio de vida silvestre Bocas del Polochic
- Refugio de vida silvestre Punta de Manabique
- Reserva de manantiales Cerro San Gil

Reserva de uso múltiple Río Sarstún Específicamente se evaluó las tasas de cambio de cobertura de bosque existentes en las áreas protegidas de Izabal. Se determinó si las áreas protegidas de este departamento tienen un manejo apropiado y se desarrolló una metodología simple que permite hacer evaluaciones de cobertura de bosque en áreas protegidas,, (Chour, 2008).

La tasa de cambio estimada en las áreas protegidas a partir de 1995 es de – 1,552 hectáreas por año. Al hacer el análisis de cambio en términos de porcentaje, se estimó que para el año 1995 las áreas protegidas de Izabal contribuían en un 46% al total de bosque del departamento. En el año 2005

correspondía al 48% y en el año 2015 se estima será de 52%. La tendencia muestra que la mayor cantidad de bosques en el departamento Izabal se encuentran dentro de las áreas protegidas, de esto la gran importancia de manejar las áreas protegidas de forma eficiente.

Para esta investigación la revisión bibliográfica sobre estudios ya realizados respecto a la dinámica de cobertura forestal a través del procesamiento de imágenes satélites en el departamento de Izabal fue fundamental para el alcance de los objetivos, esto permitió identificar cambios significativos de la cubierta forestal tanto dentro de áreas protegidas como fuera de ellas y aunque una gran parte de la masa arbórea de este departamento se ubican dentro de áreas protegidas. A nivel nacional los resultados que se han obtenido sobre los últimos estudios realizados de la dinámica de cobertura forestal, la mayor parte de bosques que se han perdido han sido dentro de las que conserva CONAP por lo que es necesario continuar monitoreando el estado y la dinámica de la cubierta arbórea y poder promover la sostenibilidad del mismo.

Julio Rodolfo Lemus Palacios en el año 2018 presenta su tesis de grado titulada. “Diagnóstico y Estudio de la Dinámica de la Cobertura Forestal del Periodo de 1999 al 2017, Para el Municipio de Palencia, Guatemala” Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la dinámica de cobertura forestal del periodo de 1999 al 2017 del municipio de Palencia, Guatemala. Para ello se realizó el análisis de temporalidad, con el fin de contar con tres escenarios comparativos, se generaron cuatro mapas, que se compararon en los periodos de (1999 – 2010), (2010 - 2012), (2012 - 2017). Se utilizó como base en el Sistema de Información Geográfica las capas de los mapas de cobertura forestal para los años 1999, 2010 y 2012, previamente elaborados, para los años 1999-2010 son una extracción de la base de datos de cobertura forestal del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), el del año 2012 es una extracción de la base de datos de cobertura del Instituto Nacional de Bosques (INAB), (Palacios, 2018).

Se realizaron visitas a campo, para entrevistas guiadas con líderes de COCODES y personas de la comunidad con vastos conocimientos en los problemas propios del lugar, con el fin de analizar y obtener información para la evaluación de factores antropogénicos y naturales, y su contribución al incremento o disminución de cobertura forestal.

De lo anterior se tuvo como resultado que para el año 1,999 (observados en la figura 8), el área boscosa ocupaba el 8.2 % de la superficie del municipio, mientras que la agricultura con cultivos básicos, anuales y perennes ocupaba el 83.6 %, la mayoría del territorio de Palencia. En comparación con el año 2010 observado en la figura 3, se evidenciaba un 15.1 % de cobertura forestal ocupando el área de 3,290.17 ha. Con los datos anteriores, se refleja que en el lapso de once años (1999-2010), existió un incremento positivo equivalente al 6.9% de cobertura forestal para el municipio de Palencia.

La investigación enfatiza al análisis de la dinámica de cobertura forestal del municipio de Palencia, Guatemala, para ello se utilizó como herramienta principal los SIG para el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales obtenidas desde la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para esta investigación se conformaron tres intervalos de tiempo dentro del periodo del estudio debido al número de años analizados generando de esta manera mapas temáticos de usos de la tierra a través de la combinación de bandas ráster, de igual manera se realizaron entrevistas dirigido a los integrantes del municipio con el objeto de identificar actividades antropogénicas que han afectado los cambios de la cubierta arbórea, esto permitió al municipio tener información actualizada de los usos de la tierra del territorio municipal y comprender el comportamiento de los bosques en los años analizados.

La Asociación de Forestería Comunitaria de Guatemala Ut'z Che' y la Universidad del Valle de Guatemala en el año 2011 presentan su informe de investigación comunitaria denominado "Dinámica de Cobertura Forestal 2001-2006 e Inventario de Carbono en la parcialidad los Vicentes, de San Vicente Buenabaj municipio de Momostenango Totonicapán, Guatemala.

En este trabajo se entrega el análisis de dinámica de cobertura forestal 2001-2006 y el resultado del inventario de Carbono de la Parcialidad Vicentes, San Vicente Buenabaj, Totonicapán. Ambos estudios aportan datos para la interpretación de la realidad ambiental del bosque, sugiriendo acciones de manejo puntual para mejorar su salud ecosistémica y asegurar así, la calidad de vida de las poblaciones cercanas al mismo.

El mapa de la dinámica de cobertura forestal de la Parcialidad Vicentes, Totonicapán, fue generado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos del Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala. Se tomó como referencia el Mapa de Dinámica de Cobertura Forestal de Guatemala 2001-2006 (UVG; INAB; CONAP; URL, 2011), pero corrigiendo el nivel de detalle para ser lo más certero posible para ajustar la escala nacional a un polígono relativamente pequeño como la Parcialidad. Las imágenes utilizadas fueron obtenidas por los satélites LANDSAT 5 y 7. Estos satélites proporcionan ortofotos (fotografías aéreas) con una resolución degradada de 1m X 1m lo que permite muy buen nivel de detalle para identificar los cambios de bosque.

Los resultados de este estudio reportan que la Parcialidad Vicentes, de San Vicente Buenabaj, Momostenango, Totonicapán, cuenta con área total de 802.35 ha, de las cuales el 48% tienen bosque, a lo largo de esos cinco años, la Parcialidad ganó 28.53 ha de bosque. Sin embargo, también se perdieron 26.82 ha en otras áreas, En la dinámica forestal del 2001 al 2006, de la parcialidad se obtuvo una ganancia de 4% y una pérdida de 3%, dando como resultado una ganancia neta de tan solo 0.2%. Esta pérdida podría deberse a la tala de árboles para el cambio en el uso del suelo o bien para uso de madera o leña.

A nivel mundial y también en Guatemala, hacen falta inventarios forestales para determinar la cantidad de carbono almacenado en los bosques. Para este tipo de estudios la utilización de los SIG son una herramienta importante y un aporte fundamental, por ello este proyecto estableció como prioridad llevar a cabo el inventario forestal y la medición del carbono almacenado en bosques comunales de la Parcialidad Vicentes, San Vicente Buenabaj, Momostenango, Totonicapán a través de la

interpretación de imágenes satelitales, al conocer la cantidad de Carbono almacenado por un bosque, se tiene una importante herramienta de decisión para considerar participar o no en el mercado internacional de Carbono promovido por el Protocolo de Kyoto para la mitigación del cambio climático.

En este mercado de carbono, las comunidades o municipalidades pueden participar “vendiendo” el carbono fijado por sus bosques. Esto significa que pueden recibir dinero de alguna empresa o Estado extranjero para proteger, cuidar y reforestar el bosque a largo plazo. Así se obtiene no sólo un beneficio económico, si no también se aseguran otros servicios prestados por el bosque, como agua, turismo, recreación.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y la Universidad Rafael Landívar (URL) en el año 2012 presentan su cuarto informe de Investigación titulado: “Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010”. Guatemala.

Desde hace aproximadamente diez años, se han realizado esfuerzos de mapeo forestal a escala nacional, conjuntamente entre el Estado de Guatemala – específicamente INAB, CONAP, MAGA y recientemente MARN- y la Academia (UVG y URL-IARNA). En este informe, se describen los resultados del cuarto proyecto de mapeo ejecutado por tal grupo interinstitucional, e incluye el mapa de cobertura forestal de la República de Guatemala para el año 2010 y su dinámica forestal para los años 2006-2010. El objetivo de este mapa es una actualización del esfuerzo previo realizado por el mismo equipo técnico de trabajo para los años 1991, 1996, 2001 y 2006, (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

De acuerdo a los resultados finales del proyecto, la República de Guatemala contaba con una cobertura de bosque equivalente a 3,722,595 hectáreas (ha) para el año 2010, lo que representa un 34.2 % del país. El dato revisado para el año 2006 es de 3,868,708 ha de cobertura forestal, lo cual equivale al 35.5 % del territorio nacional.

Para todo el período de estudio, a nivel nacional se estima que se produjo una pérdida en la cobertura forestal de 500,219 hectáreas. Durante este mismo período de tiempo se estimó una ganancia de bosque de 354,107 ha, lo que refleja una pérdida neta de 146,112 hectáreas de bosque. Al ser la deforestación neta para el país de 146,112 ha, obtenemos que se ha perdido un 3.78 % con respecto al bosque que existía en el año 2006. Asimismo, el período de tiempo del estudio promedio en función de las imágenes fue de 3.79 años, según la ponderación por áreas, a partir de las fechas de las distintas imágenes de satélite utilizadas.

De tal manera que, el 52.0 % de la cobertura forestal nacional se ubica dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), y éste a su vez cubre una tercera parte del territorio nacional. El restante 48.0 % de la cobertura forestal se distribuye, de manera fragmentada, en las otras dos terceras partes del país. Ante esta concentración de cobertura forestal dentro de Áreas Protegidas, por cada cuatro hectáreas de pérdida en el período 2006-2010, tres de ellas ocurrieron dentro del SIGAP y una fuera del mismo.

El manejo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es muy importante para la identificación del comportamiento de la cubierta forestal en grandes extensiones, un claro ejemplo es el presente estudio realizado para Guatemala, toda la información obtenida de la investigación es de suma importancia para la planificación y ejecución de proyectos verdes en beneficio de la sostenibilidad de los recursos forestales, ya que de acuerdo a los resultados la pérdida de la masa arbórea ha sido significativo para el país, a pesar de que se han realizado esfuerzos para poder contrarrestar los problemas que son la causa de la disminución de los bosques, hace falta aún llevar el control y actualizar la información como hasta ahora se ha hecho, a través de la utilización de los SIG para el país de Guatemala.

Rainforest Alliance y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas/Wildlife Conservation Society; en el año 2015 presentan su informe de investigación titulado “Tendencias en la deforestación de la Reserva de Biosfera Maya (RBM), Guatemala” departamento de Petén, Guatemala

El Centro para el Monitoreo y Evaluación (CEMEC), del Consejo Nacional de Áreas Protegidas ha procesado imágenes de satélite LANDSAT y utilizando sistemas de información geográfica (SIG), para evaluar los cambios en cobertura forestal desde 1986. Las capas de datos espaciales se sobrepusieron sobre zonas de manejo y unidades de la RBM para determinar la cobertura forestal en los siguientes años: 2000, 2007, 2010, 2011, 2012 y 2013. Para calcular tasas de deforestación, se aplicó la ecuación descrita por Puyravaud (2003), que se deriva de la Ley de Interés Compuesto: $Tasa = (1 / (\text{año final} - \text{año inicial}), \ln (\text{área forestal final} / \text{área forestal inicial}))$. Para evaluar y comparar las tasas de deforestación los resultados se recopilaron y analizaron con base en los siguientes parámetros:

- Zonas de manejo: Zona Núcleo, Zona de Usos Múltiples, Zona de Amortiguamiento
- Estatus de la concesión: activa o cancelada
- Comunidades residentes: presentes o ausentes
- Duración de residencia de la comunidad en la unidad concesionaria: 50 años, (CONAP,WCS, FIPA/AID, 2015).

La producción forestal certificada mediante estándares internacionales, puede ser una forma efectiva de mantener la cobertura forestal. Esto es un hecho tanto para concesiones industriales como comunitarias. Aunque algunos han dicho recientemente que el éxito del manejo comunitario se ha exagerado, el hecho es que los bosques comunitarios han sido al menos tan eficientes como los parques en cuanto a mantener la cobertura forestal en la RBM. En un ambiente de política global que sigue siendo hostil a la idea de la producción forestal mediante un bosque natural de alto valor y mediante manejo comunitario, la experiencia de la RBM es una revelación.

Los resultados del estudio estimaron que en la RBM ocupa el 19% de cobertura respecto al área total del país, durante el período 2000 al 2013 la deforestación analizado fue de 1.2%. Esta tasa es menor que la tasa nacional para Guatemala durante 2000- 2010, que fue de 1.4%, las áreas protegidas de la zona núcleo en

conjunto experimentaron una tasa de deforestación del 1.0%. Hay considerable diferenciación en la deforestación dentro de las 12 unidades de manejo que constituyen la Zona Núcleo. La mayor parte de la deforestación se ha concentrado en los parques situados en la parte oeste, específicamente en los parques nacionales Laguna del Tigre y Sierra del Lacandón.

Este análisis resalta el punto de que las generalizaciones en cuanto al simple éxito o fracaso de una forma de manejo deben verse con precaución y ponerse bajo contexto. Los hallazgos de la investigación respaldan la fuerte evidencia de que la producción forestal comunitaria puede ser una efectiva herramienta de conservación forestal y que a través de la utilización de los SIG para el monitoreo de la dinámica de manejo y aprovechamientos de los bosques es posible planificar y ejecutar actividades silvícolas que conlleva a la aplicación de modelos efectivos de aprovechamiento y conservación de los recursos forestales y ambientales.

El Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y uso de la Tierra en el año 2014 presenta su informe de investigación para el país Titulado “Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012, Mapa de Cambios en Uso de la Tierra 2001 – 2010 para Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero”. Guatemala.

El Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GOMBOT), ha venido trabajando desde el 2001 en generar productos cartográficos relacionados con los recursos naturales del país. Este documento presenta los últimos dos productos en esta línea: Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012, y Mapa de Cambios en Uso de la Tierra 2001 - 2010 como base para los inventarios de gases de efecto invernadero. El Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012 es un trabajo más detallado en comparación a las publicaciones anteriores pues es realizado utilizando imágenes satelitales de alta resolución RapidEye, lo cual permitió analizar y clasificar otros usos de la tierra además de los bosques.

Como resultado de este mapa se identificó que el territorio nacional cuenta con 33.74 % de cobertura boscosa, los territorios agrícolas abarcan el 38.1%, los

medios seminaturales tienen el 23.81% del territorio siendo el resto de superficie ocupada por uso urbano con 1.28%, el agua y los humedales el 2.62% y el 0.45% restante son áreas para las cuales no se obtuvo información (por cubierta de nubes o sombra). El Mapa de Cambios en Uso de la Tierra 2001-2010, se ha construido sobre productos anteriores ya publicados sobre las dinámicas de la Cobertura Forestal para los años 2001, 2006 y 2010. Analizando las imágenes LANDSAT originales y auxiliados de otras imágenes de alta resolución para añadir las categorías mínimas de las Guías del IPCC para inventarios de GEI del sector UTCUTS a los mapas previos, se ha obtenido con mayor claridad una idea de la dinámica alrededor de los procesos de deforestación y reforestación. Esto es un gran aporte para el país, ya que se proveen los datos y estadísticas necesarios para estimar las emisiones de GEI provenientes de la deforestación y cambio de uso de la tierra, los cuales sustentan la toma de decisiones asociada al sector, (GIMBOT, 2014).

El mapa de bosques y uso de la tierra del año 2012 indica que la distribución porcentual del territorio del país se divide en: 1.28% territorios artificializados (asentamientos humanos); 38.10% territorios agrícolas desglosados en 11.09% agricultura anual, 11.34% agricultura permanente, 15.17% pastizales y 0.5% zonas agrícolas heterogéneas; 33.74% bosques; 23.48% medios con vegetación arbustiva y/o herbácea; 0.33% espacios abiertos sin o con poca vegetación; 0.98% zonas de humedales; 1.64% cuerpos de agua; y 0.45% del territorio nacional sin formación por efecto de nubes o sombra.

Por otro lado, los datos generados durante las dos fases del proyecto serán de gran utilidad en contextos de reporte y preparación para la República de Guatemala en el ámbito internacional en espacios como: Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) a cargo de FAO; Fase preparatoria de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques –REDD+– (por sus siglas en inglés), orientada al establecimiento de un Sistema Nacional de Monitoreo, liderado por MARN en nuestro país; y Fases iniciales de la iniciativa LEDS del Gobierno de Guatemala apoyada por USAID.

Como se presenta en este estudio, el uso de imágenes satelitales y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), también contribuyen al análisis de distintos fenómenos ambientales como lo es el comportamiento del carbono almacenado lo cual van de la mano con la dinámica de la cobertura forestal y los distintos cambios de uso de la tierra que está teniendo el país, de acuerdo a los resultados se estimó una pérdida neta en el contenido de carbono para los cambios en los usos reportados en el territorio nacional para el período 2001-2010 es de 46.4 millones de toneladas de carbono, esto es debido a la disminución de bosques que ha habido en el país, la importancia entonces del monitoreo del comportamiento de la cubierta arbórea resalta en la sostenibilidad de los recursos naturales y con ello planificar proyectos verdes como la REDD+ para garantizar la calidad de vida de las futuras generaciones.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) en el año 2015 presentan su informe de Investigación para Guatemala titulado “Mapa de Cobertura Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque para Guatemala”.

El mapa detalla 16 clases generales, 21 subtipos de bosque basados en criterios ecológicos y de especies; y 16 subtipos de bosque por densidades de los grandes tipos de bosque. Autoridades del Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBOT), presentaron el Mapa de Cobertura Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque para la República de Guatemala 2012. El mapa generado, constituye una herramienta muy importante para el país porque contiene información actualizada de cobertura forestal que será de mucha utilidad para efectos tanto de planificación como de toma de decisiones en la orientación y aplicación de instrumentos de política pública con un enfoque geográfico-espacial en sectores como ambiente, energía y agricultura del país.

El mapa logra detallar los tipos y subtipos de bosque que tiene el país, también se logró diferenciar según las densidades de esos tipos de bosques, es decir; si se trata de bosques densos o ralos, lo cual es un indicador del grado de alteración que puedan tener esos bosques, esto hace diferencia con relación a los mapas de cobertura forestal generados en años anteriores, donde solo se ha

diferenciado si es bosque o no bosque. Es importante mencionar que ese análisis se realiza por primera vez para Guatemala, (INAB-CONAP, 2015).

La fase de trabajo II tuvo como objetivo principal elaborar el Mapa Nacional de Cobertura Forestal, 2,012 identificando los subtipos de bosque a Escala 1:25,000 usando como base todo el proceso desarrollado en la Fase I.

El proceso a seguir en la Fase II fue el de desagregar clases, ya que a partir de las clases o tipos de la Fase I (16 clases) se derivaron los subtipos de bosque para la Fase II (21 clases), Se han elaborado 2 mapas:

- Mapa Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque.
- Mapa Forestal de Densidades por Tipos de Bosque.

La importancia de esta investigación radica en la generación de datos actualizados de cobertura forestal con detalles de trabajo nunca antes realizados para Guatemala, como es el caso de cobertura forestal por densidades y/o especies, información que es de mucha utilidad para efectos de planificación como de toma de decisiones con un enfoque geográfico-espacial en sectores como ambiente, energía y agricultura del país.

Por otro lado, la información generada es de gran valor para lograr un mejor entendimiento de lo que ha venido ocurriendo en otros estudios ya publicados de las dinámicas de uso de la tierra y pérdida o ganancia forestal a nivel nacional, de igual manera servirá para otros estudios o iniciativas que están en proceso como el Inventario Forestal Nacional, el Análisis de los Agentes de Deforestación y Estrategias para Reducir la Deforestación, entre otros.

Instituto Nacional de Bosques (INAB); Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP); Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); Ministerio de ambiente y Recursos Naturales (MARN); Universidad del Valle de Guatemala (UVG); Universidad Rafael Landívar (URL) en el año 2019 presentan su informe de Investigación para el país titulado “Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2010-2016”. Guatemala.

La Investigación de escala nacional da a conocer la cobertura forestal de la república de Guatemala al año 2016, su dinámica de cobertura forestal para el período 2010-2016 y detalla las tasas de cambio en la cobertura forestal que incluye las áreas con pérdidas de bosques y las áreas con ganancias; así como las áreas sin cambios, a escala nacional, así como el análisis por departamento y municipio. El análisis comprende los bosques fuera y dentro de las áreas protegidas.

Los resultados obtenidos del análisis de la cobertura forestal de la república de Guatemala, muestran que para el año 2016, el país contaba con una superficie de 3,574,244 hectáreas cubiertas de bosques, que equivalen a un 33% del territorio nacional, cifra que, al ser comparada con la cobertura forestal existente en el año 2010, que fue de 3,675,786 hectáreas equivalentes a un 33.9% del país, muestran que del año 2010 al 2016, hubo una disminución de en la cobertura forestal del 0.9%. Con respecto a la cobertura forestal dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), se determinó que del total de la cobertura forestal existente en el país para el año 2016, el 52.7 % se encuentra dentro del SIGAP, (INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG, URL., 2019).

El análisis comparativo de los datos de cobertura obtenidos en estudios anteriores, indican una reducción gradual en la tasa porcentual de pérdidas de los períodos 1991-2001 que fue de -1.43%; en 2001-2006 fue de -1.16%; en 2006-2010 fue del -1% y de -0.5% para el 2010-2016; explicada en parte por el incremento en la tasa de ganancias en la cobertura forestal asociadas a la regeneración natural y la reforestación basadas en el manejo forestal sostenible, realizado principalmente con los programas de Incentivos Forestales promovidos por el INAB.

La primera investigación trabajada para Guatemala entre los años de 1991-2001 la tasa de deforestación fue de -1.16% y para el último estudio realizado que fue entre los años de 2010 al 2016 la tasa de deforestación fue de 0.5%, la disminución en la deforestación neta se debe al aumento de ganancia de bosque en cada período estudiado para el país por ello la importancia de utilizar los Sistemas de Información

Geográfica (SIG) como herramienta fundamental para el monitoreo sobre el estado de los bosques, se obtiene información a escalas mayores, generar información de este tipo permite comprender factores que han causado la disminución de la masa arbórea y con ello proyectar acciones basados en actividades silvícolas que promuevan el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales a nivel nacional.

El Dr. José López García en el año 2007 presenta los resultados obtenidos de una consultoría para investigación titulada “Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007)”. Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN). México, D.F.

Los procesos de degradación forestal han estado afectando a la región montañosa entre los estados de México y Michoacán, reduciendo la densidad de la cobertura forestal y el cambio de uso del suelo con fines agrícolas y pecuarios. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar los cambios en la densidad de cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), mediante un método híbrido, que consistió en la interacción de técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica.

Esto tiene la finalidad de conocer el nivel de perturbación forestal en la RBMM, tanto en la zona de amortiguamiento como en la zona núcleo, en particular en los predios que participan en el Fondo Monarca (FM), e integrar esos resultados al proceso de evaluación que el Comité Técnico del Fideicomiso del FM utiliza para determinar la aprobación de pagos por conservación. El uso de imágenes Spot 5 (3 m por píxel) de 2006 y 2007, procesadas en color natural (similar a una fotografía en color) permitió la comparación con el mosaico orto corregido (1 m por píxel) de 2006, con apoyo de fotografías aéreas (0.4 m por píxel) de 2006. Para un pequeño sector, al sur de la RBMM, se contó con fotografías aéreas digitales de 2007. Éstas fueron de gran utilidad debido a la presencia de nubosidad y bruma en las imágenes satelitales, (García J. L., 2007).

La fotointerpretación dio como resultado el mapa de densidades de coberturas forestales y el uso del suelo de 2006 y 2007, además representa el estado

general de conservación de la vegetación forestal en la Reserva de La Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM).

El análisis comparativo imagen–fotografía digital permitió una comparación aceptable, logrando discriminar áreas de menos de 0.25 cm², comparables con los resultados obtenidos utilizando solo fotografías aéreas digitales. Este análisis comparativo arrojó una superficie de cambio de 329.08 ha para toda la RBMM: 94.81 ha (28.81%) distribuidas en la zona de amortiguamiento y 234.27 ha (71.19%) en la zona núcleo. Los predios con mayor afectación en la zona de amortiguamiento fueron: El Paso, Propiedad Privada 3, El Depósito, Crescencio Morales, Las Rosas 2 y Hervidero y Plancha. Para la zona núcleo, los más afectados fueron: Crescencio Morales, Comunidad Indígena Nicolás Romero, Litigio 1 y El Depósito. El resto son predios con menos de 2 hectáreas de afectación.

El estudio fue realizado con el objetivo de evaluar el nivel de perturbación que han sufrido los bosques pertenecientes a la reserva de la biosfera de la mariposa monarca, tomando en cuenta que parte de estas áreas boscosas son de tenencia particular, los cuales por medio técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica se estimaron cambios negativos en cuanto a la cobertura, sin embargo no son significativos como se describe en el informe de la investigación, debido que en estas áreas han creado una iniciativa que permite el pago de no aprovechamiento forestal para aquellos propietarios que quedaron restringidos en cuanto a sus derechos de aprovechamiento, así como a los dueños de predios que aportan servicios de conservación, sin embargo la importancia del monitoreo de la dinámica de los bosques a través de los SIG se basa fundamentalmente a la conservación de la especies teniendo un control de la cubierta arbórea ubicada en las áreas de tenencia privada.

Nicolás Alexander Patiño Narvárez en el año 2015 presenta sus tesis de grado titulado “Clasificación de la Cobertura de la Tierra en el Suelo Rural del municipio de Pupiales – Nariño, Colombia, mediante la aplicación de Herramientas SIG”, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales, Colombia.

La zonificación de la cobertura de la tierra es una labor de vital importancia para lograr una planificación eficaz del territorio, en este sentido el presente trabajo tuvo como objetivo la clasificación de la cobertura de la tierra de la zona rural del municipio de Pupiales para lo cual se tuvo como referencia la metodología CORINE Land Cover y la clasificación de las coberturas identificadas se hizo con base en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, la cual ya ha sido aplicada en Colombia, siendo el caso más representativo a nivel nacional el mapa de cobertura de la tierra cuenca Magdalena – Cauca elaborado entre los años 2004 y 2007.

La Investigación cobra real importancia en la medida que se orientó a la zonificación de la cobertura de la tierra en la zona rural del municipio de Pupiales como parte de la generación de conocimiento e información en el proceso de ordenamiento territorial del municipio, por tanto se buscó que la realización de este trabajo se vincule directamente con la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Pupiales, lo que facilitó la consecución de información correspondiente a cartografía base a escala 1:25000 y una imagen satelital, y permitió la inclusión de los resultados a dicho proceso de actualización

Se enfoca en llevar a la práctica en un contexto municipal la metodología CORINE Land Cover para la zonificación y clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales, abordando una necesidad planteada por el municipio, es decir este trabajo persigue fines de aplicación directos e inmediatos, los cuales se materializan o traducen en mapas temáticos que contienen principalmente la clasificación de la cobertura de la tierra y complementariamente información derivada de la topografía municipal como la clasificación de la pendiente y altitudinal que se vinculan directamente al diagnóstico biofísico y geográfico del proceso de ordenamiento territorial del municipio de Pupiales.

La clasificación de la cobertura de la tierra del municipio de Pupiales resalta la importancia de la integración y aplicación de Sistemas de Información Geográfica SIG, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sensores Remotos y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales en la generación de información geo referenciada que se constituye en un instrumento que contribuye en la gestión del suelo en el ordenamiento territorial para la planificación del desarrollo territorial, estableciendo un aporte al conocimiento de las condiciones actuales del municipio, (Narvaez, 2015).

El resultado de la Investigación permite conocer la distribución de la cobertura de la tierra en el territorio municipal de Pupiales y determinar el uso asociado a estas, el sistema de clasificación fue el contemplado en la Leyenda Corine Land Cover para Colombia, lo cual se consiguió satisfactoriamente. Se materializan en mapas temáticos que especializan la clasificación de la cubierta y uso de la tierra, complementariamente se integró la base cartográfica digital geo referenciada a escala 1:25.000 la cual se constituye en el vínculo geográfico de los resultados de la clasificación de la cobertura de la tierra y uso de la tierra, clasificación de la pendiente, variación altitudinal y división político administrativa (veredas), debido a que soporta la distribución espacial de los resultados y permite visualizarlos y analizarlos en el contexto geográfico municipal.

Esta investigación presenta un mapa de zonificación de los diferentes usos de la tierra del territorio en estudio realizado en base a la metodología de CORINE Land Cover, a través de ello fue utilizado el procesamiento de imágenes satelitales tomando en cuenta el tipo de combinación de bandas para la identificación de coberturas y uso de la tierra sobre el área de interés, la cual refleja elementos como infraestructura vial, centros poblados, hidrografía, delimitación política administrativa, conjuntamente con la clasificación de las pendientes, finalmente este estudio contribuye como un instrumento básico para el diagnóstico municipal de este territorio permitiendo una visión geográfica integral y contextualizada en el ámbito espacial para planificaciones y ejecuciones de proyectos en pro a la sostenibilidad ambiental y a un mejor ordenamiento territorial.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Origen de la teledetección

La historia de la teledetección se remonta a las primeras plataformas de observación aérea: los globos aerostáticos y a la invención de la fotografía en el siglo XIX. La teledetección moderna nace con la fotografía aérea en el siglo XX. El año que simboliza la entrada de la teledetección en la era moderna es 1957 con el lanzamiento del satélite Sputnik, primer satélite artificial puesto en órbita alrededor de la Tierra por la Unión Soviética. Desde entonces a la fecha se han visto avances sustanciales en la modernización de satélites que le dan cobertura al mundo entero, (REDD-Landscape / CCAD-GIZ, 2016, pág. 9).

1.3.2. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

La teledetección, o uso de sistemas remotos, se pueden definir como la utilización de sensores para la adquisición de la información sobre objetos o fenómenos sin que exista contacto entre ellos. Estos sensores pueden ser sistemas fotográficos u óptico-electrónicos capaces de registrar en forma de imágenes la energía emitida por objetos distantes y pueden ser montados en diferentes plataformas como aviones, satélites y torres y otros sistemas terrestres. La teledetección permite el estudio de los recursos naturales y la vegetación en el ambiente, pudiendo obtener información precisa en tiempo casi-real de la situación del sector sin necesidad de que el área de estudio sea muy grande (Castañeda J. C., 2013, pág. 42)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten el análisis integrado de información de sensores remotos, cartografía y bases de datos geo referenciadas logrando relacionar factores causa y efecto sobre el estado de la vegetación, en este estudio se utilizan sensores remotos tanto satelitales como de fotografía aérea, logrando con esta combinación recopilar la mayor cantidad de información espectral y espacial.

1.3.3. Teledetección aplicada a estudios de vegetación

La Teledetección espacial es el sistema integral de captura de información territorial (a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor) que se emplea cada día con mayor frecuencia para la captura tanto de información temática (medioambiental), como de información topográfica (planimetría). Esto ha sido posible gracias al desarrollo que han experimentado, por un lado, las técnicas de tratamiento digital de imágenes, y la obtención de datos significativos del territorio; y por otro, el acceso a la exhaustiva información digital proporcionada por sensores, en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal, (REDD-Landscape / CCAD-GIZ, 2016).

El uso de la teledetección a través de imágenes de satélite, facilita la elaboración de mapas temáticos que denotan el estado de los recursos agrícolas y forestales. Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar los tipos de vegetación, su estado y el nivel de protección del suelo. A partir de estos datos es posible obtener la superficie cultivada o arbolada e incluso identificar las especies vegetales. Mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite es posible hacer un seguimiento de la evolución Sputnik, primer satélite artificial puesto en órbita alrededor de la Tierra por la Unión Soviética. Desde entonces a la fecha se han visto avances sustanciales en la modernización de satélites que le den cobertura al mundo entero, (Vega & Isabel, 2010, pág. 88).

La Teledetección dispone de una serie de ventajas indiscutibles en comparación con otros sistemas convencionales de observación de la Tierra. Entre las principales ventajas, se resaltan las siguientes: a) visión global, b) observación de información en regiones no visibles del espectro, c) observación a distintas escalas, d) frecuencia y e) homogeneidad en la adquisición. Gracias a estas aptitudes, la Teledetección espacial se convierte en una herramienta de información espacial de gran interés para la producción y actualización cartográfica, como fuente de entrada en Sistemas de Información Geográfica de carácter multipropósito, (Vega & Isabel, 2010, pág. 89).

Las imágenes de satélite tienen la ventaja de que abarcan una zona mucho más amplia que las imágenes aéreas, permitiendo realizar estudios territoriales a bajo coste, siempre y cuando se sometan a tratamiento de corrección procedente de sensores para la extracción de información específica a los fines requeridos, topográficos y temáticos, (REDD-Landscape / CCAD-GIZ, 2016).

1.3.4. Tratamiento digital de imágenes

El Tratamiento Digital de Imágenes es una parte fundamental de la teledetección, cuyo desarrollo ha impulsado las aplicaciones de los datos digitales procedentes de sensores. La Imagen en forma digital (matriz numérica bidimensional) obtenida directamente (radiómetros) o por transformación de la imagen analógica (cámaras métricas) en digital mediante escáner, será la fuente indispensable de entrada de datos en el Sistema de Tratamiento.

1.3.5. Imágenes Landsat

Las imágenes Landsat son tomadas por los satélites Landsat, que son una serie de satélites construidas y puestas en órbita por los Estados Unidos de Norteamérica para la observación en alta resolución de la superficie terrestre, los Landsat orbitan alrededor de la tierra en órbita circular heliosincrónica a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del ecuador y un periodo de 99 minutos, la órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que estos cruzan del ecuador lo hacen de Norte a Sur, los Landsat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral, (Castañeda J. C., 2013, pág. 42).

1.3.6. Análisis multitemporal

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre sí difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen.

1.3.7. Procesamiento, interpretación y comparación de imágenes por satélite

Previo a cualquier análisis mediante imágenes de satélite, como el caso de mapeo forestal, deben aplicarse dos procedimientos digitales.

1.3.7.1. Pre procesamiento

Corrección Geométrica y Conversión a Reflectancia (o corrección radiométrica). El primer tipo de correcciones hace que la imagen en cuestión corresponda adecuadamente a un espacio geográfico real. Esto se logra mediante los procesos de georreferenciación.

1.3.7.2. Orto rectificación

Como su nombre lo indica, la geo referenciación busca puntos en común de referencia entre la imagen y un mapa de resolución adecuada que corresponda al área representada por la imagen. Alternativamente, se pueden usar puntos de campo con coordenadas conocidas mediante el uso de un GPS. La orto-rectificación es un proceso más complejo que requiere información de la topografía del terreno representado por la imagen. Este proceso no sólo corrige distorsiones espaciales causadas por topografía, sino también distorsiones debidas a la curvatura de la tierra y a los ángulos variables de los rayos de luz incidentes en el detector, (UVG; INAB; CONAP, 2006, pág. 32).

1.3.8. Procesamiento Digital de Imágenes (PDI)

Es el conjunto de métodos y técnicas orientado a la manipulación y análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, su corrección, mejoramiento, transformación y/o clasificación temática con el fin de generar información útil sobre objetos, áreas y fenómenos, sin estar en contacto con ellos y con el fin de mejorar el conocimiento sobre los recursos naturales de la Tierra.

Normalmente toda interpretación y análisis de imágenes involucra algún proceso digital, incluyendo la importación, exportación, corrección de datos, mejoras y realces

para facilitar una mejor explicación visual o cierto tipo de clasificación automática de interés desde un computador.

❖ **Imagen digital**

La imagen digital es un arreglo matricial de números que representa una distribución espacial de la energía electromagnética (reflexión, emisión, temperatura o alguna variable de elevación topográfica o geofísica) de una escena capturada por un sensor remoto, (Narvaez, 2015, pág. 25).

❖ **Imágenes de satélite**

Son productos de sensores remotos pasivos y trabajan en el rango óptico del espectro electromagnético de 0.4 a 15 μm . El sistema de captura de información se combina con una óptica similar a la de la fotografía y un sistema de detección electrónica. La imagen de satélite a diferencia de la fotografía aérea permite su manipulación digital con el fin de mejorar el contraste para resaltar diferentes tipos de superficies y proporcionar un estimativo de las características en el estudio cuantitativo geográfico y temático de una región en particular y almacenar esta información en base de datos relacionales, La mínima unidad identificable e indivisible en una imagen satelital se denomina píxel.

Una imagen digital está conformada por elementos pictóricos discretos denominados píxeles, organizados en filas y columnas. Cada píxel tiene asociado un número denominado Nivel Digital (ND), el cual representa la intensidad o brillo promedio de un área mínima relativa dentro de la escena; para monitores de 8 bits el rango de niveles digitales va de 0 a 255.

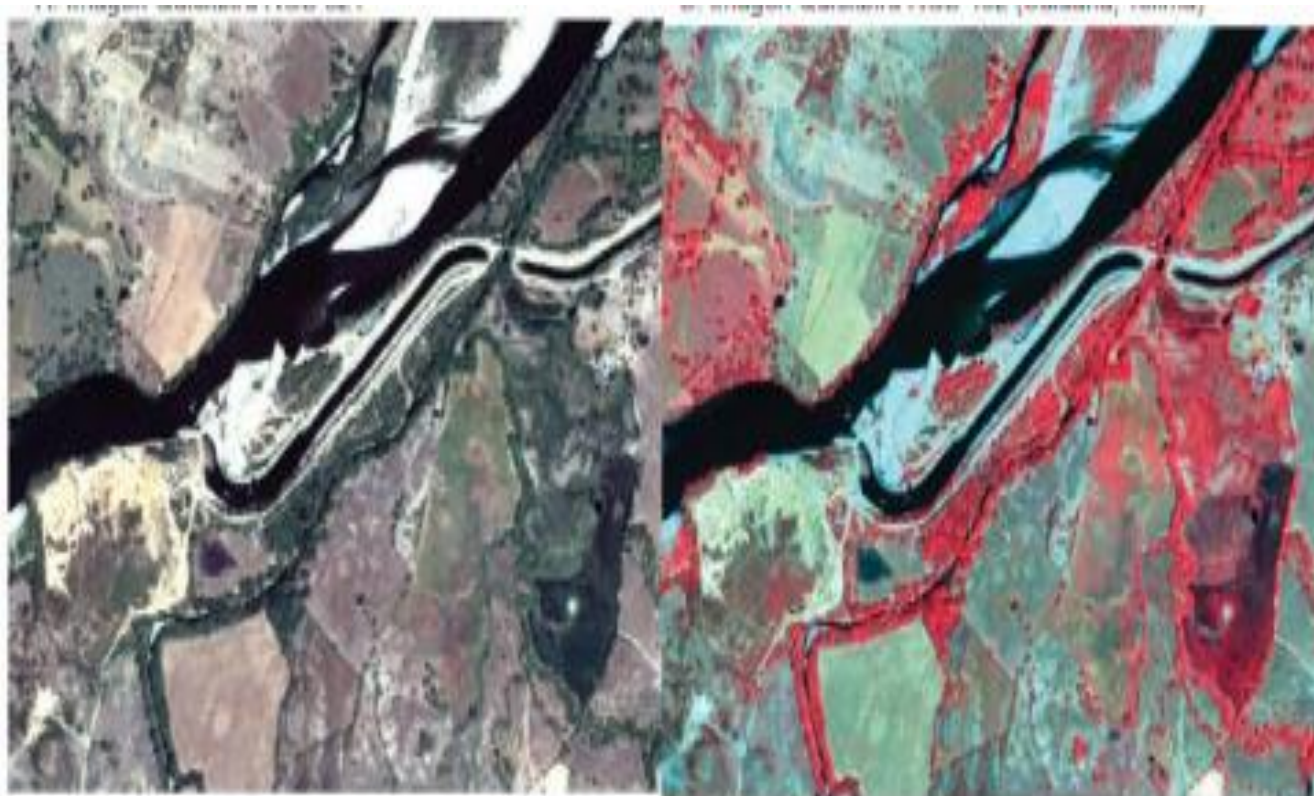


Figura 3. Ejemplo de imágenes satelitales de sensores remotos.

Fuente. Patiño Narváez. N.A. Clasificación de la Cobertura de la Tierra en el Suelo Rural del municipio de Pupiales – Nariño Mediante la Aplicación de Herramientas SIG 2015.

❖ **Imágenes LANDSAT Y SENTINEL**

Una de las potencialidades de la Teledetección aplicadas al estudio del medio que nos rodea, es la capacidad de discriminar diferentes cubiertas vegetales, usos de suelo, masas de agua, o la detección de fenómenos naturales o provocados por la actividad humana. Esto puede analizarse gracias a la existencia de las diferentes bandas multiespectrales con las que cuentan los satélites de hoy día, tanto Landsat como Sentinel, son dos de los satélites más importantes que nos proporcionan imágenes para trabajar en Teledetección, presentan diversas bandas que operan bajo rangos parecidos, lo que implica la necesidad de combinarlas de manera distinta en función del estudio deseado.

La creación de estas imágenes parte del paso de bandas a través de tres canales: rojo, verde y azul. El paso de cada banda por un canal u otro permitirá teñir de colores los elementos que ofrezcan mayor o menor reflexión de

longitudes de onda. Así, por ejemplo, la vegetación refleja en la zona del infrarrojo y absorbe en la zona visible del rojo. El juego cromático de estas bandas nos ayudará a elaborar mapas específicos de vegetación o realizar seguimientos de incendios entre otros, (Guevara, 2017).

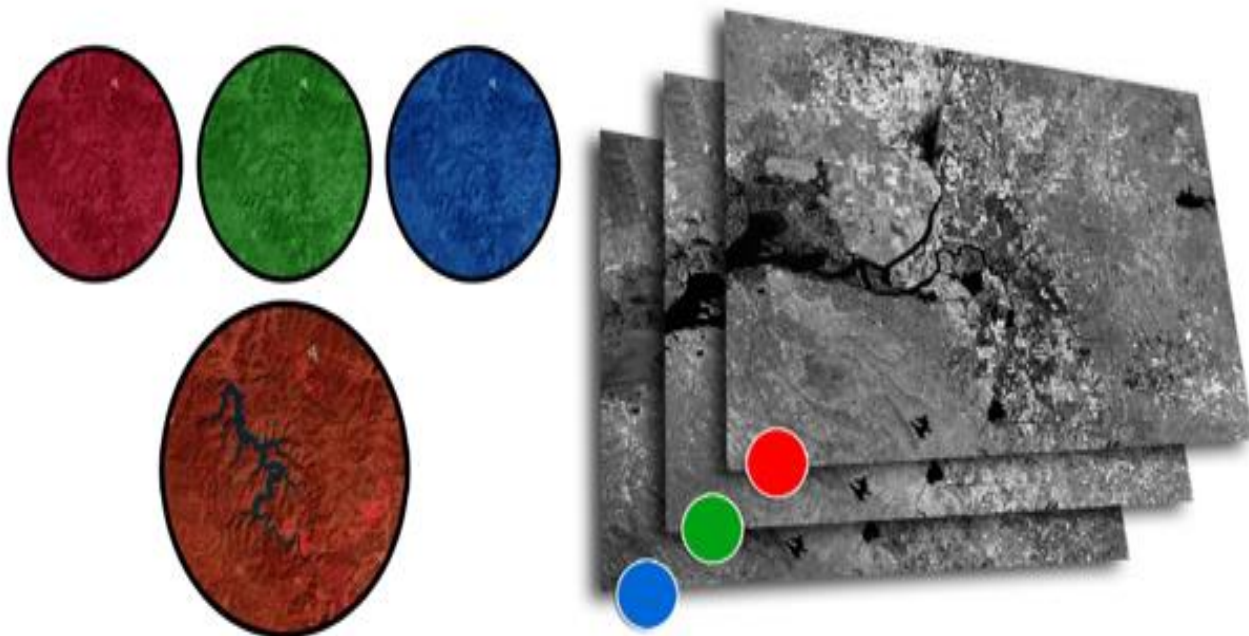


Figura 4. Ejemplo de Combinaciones RGB de imágenes satélite Landsat y Sentinel.

Fuente. Combinaciones RGB de imágenes satélite Landsat y Sentinel, (Guevara, 2017).

Para poder visualizar las imágenes de Teledetección en color, es necesario realizar una combinación de tres bandas, que recibe el nombre de imagen coloreada compuesta, en función de las bandas escogidas. Esto se hace aplicando cada uno de los tres colores primarios, (rojo, verde, azul) como se visualiza en la figura 4.

El máximo de bandas que podemos emplear por composición es de tres y la apariencia dependerá de las bandas espectrales que asignemos a los canales rojo, verde y azul del monitor. El proceso permite visualizar, simultáneamente, información de distintas regiones del *espectro*, lo que facilita la delimitación visual de distintas coberturas de la tierra.

Los pasos de cada una de las bandas por los tres canales RGB dará, como resultado, la combinación de imágenes satélite para formar una imagen a color natural o a falso color, realizando elementos muy concretos para su posterior estudio y análisis. Podremos realizar estas combinaciones siempre y cuando conozcamos el rango de trabajo en el que operan las bandas del satélite seleccionado y el comportamiento de reflexión de los elementos objeto de estudio. Cada imagen será teñida de un color y la mezcla de las tres bandas dará, como resultado, la imagen RGB destinada a realzar los aspectos territoriales deseados.

1.3.8. Interpretación de imágenes de satélite

Consiste en la utilización de técnicas, sistemas y procesos de análisis de imágenes, por personal capacitado, para dar información confiable y en la medida de lo posible detallada acerca de los objetos naturales o artificiales contenidos en la imagen que se analiza, y determinar los factores que implican la presencia, condición y uso de ellos, (IGAC, 2005, pág. 188).

1.3.9. Clasificación digital de imágenes

La clasificación es la etapa final de la mayoría de proyectos sobre procesamiento digital y su objetivo principal es la producción de los mapas temáticos. La clasificación digital no es la definición absoluta de cada cubierta, aplicable a cualquier tipo de imagen, sino la expresión relativa y válida para una determinada imagen, un determinado tiempo y una determinada región. Se trata de establecer la relación entre medidas digitales y las clases de coberturas presentes en la imagen. Su enfoque es cualitativo, lo que implica la caracterización de una imagen multiespectral, reduciendo la escala de medidas de una variable continua (ND) a una escala cualitativa, nominal o categórica. El enfoque de la clasificación es puramente espectral por tratar de agrupar las clases temáticas en función de las respuestas espectrales, existen dos métodos básicos de clasificación, a saber: no supervisado y supervisado.

La clasificación multispectral de imágenes se usa para extraer información temática de las imágenes de satélite de una manera semiautomática. La clasificación digital está dirigida a obtener una nueva imagen en la cual a cada uno de los píxeles de la imagen original se le asigna una clase o leyenda. El proceso de clasificación tiene como objetivo delimitar e identificar los diferentes objetos correspondientes a la cobertura del terreno, con base en sus características espectrales. Cada objeto se identifica por un rango de valores para cada banda espectral, este rango que caracteriza al objeto se denomina "firma espectral", (Narvaez, 2015, pág. 27).

1.3.10.1. Clasificación supervisada

Para realizar la clasificación supervisada, se sugiere tener un conocimiento previo de la cobertura y de los elementos circundantes de la zona o área donde se desarrollará el estudio. Son muy útiles las salidas de campo para reconocer los aspectos florísticos, edáficos y geológicos. Con base a esto se delimitan áreas de entrenamiento, a partir de las cuales se caracterizan cada una de las clases, para asignar más tarde el resto de los píxeles de una imagen a una de esas categorías siendo esto una manera más puntual para realizar el análisis, (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

La determinación de áreas de entrenamiento es un aspecto de especial relevancia por lo cual debe delimitarse en lo posible áreas lo suficientemente grandes y homogéneas, aspecto que está determinado visualmente según la composición en color y por la tonalidad. Se le llama método supervisado o clasificación supervisada, porque el usuario define y supervisa todo el proceso para obtener la firma espectral de cada rango, siendo el computador responsable solo del proceso de extrapolación, que ubica cada uno.

1.3.10.1. Método no supervisado

El proceso de clasificación no supervisada, erróneamente denominada a veces automática, consiste en la definición de los grupos, por el sistema mismo con base exclusivamente en las diferencias entre los valores digitales, por lo cual algún software

la denomina clasificación de clúster. Esencialmente el sistema define las clases espectrales; no obstante, su identificación corresponde al intérprete.

1.3.10. Sensores remotos

Sistema de detección y medida a distancia, generalmente empleados desde aeronaves o satélites, con los que se obtiene información meteorológica, oceanográfica, sobre la cubierta vegetal, etc. Para tales medidas se utilizan sistemas de detección activos y pasivos. La observación de la cobertura biofísica de la tierra se puede realizar a través de sensores remotos entendidos como sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia. Los Sensores Remotos son dispositivos que permiten capturar información de los objetos sin tener un contacto directo con ellos, su uso en aplicaciones para el estudio de los recursos naturales tiene una larga trayectoria, dado que proporcionan información confiable sobre superficies extensas con alta precisión y costos razonables, (Narvaez, 2015, pág. 26).

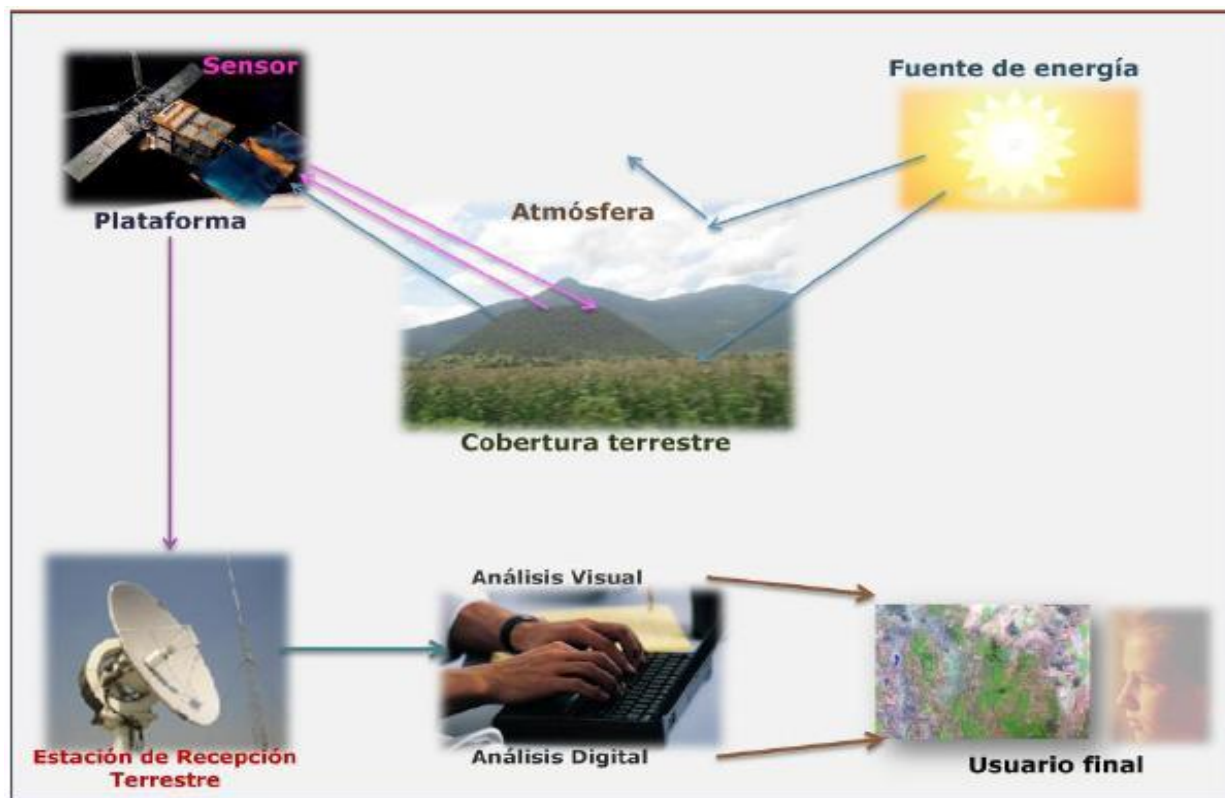


Figura 5. Procesamiento de imágenes satelitales (Sensores remotos).

Fuente. (Bermúdez, 2015).

1.3.11. Tipos de sensores remotos

El Sol es la fuente de energía, la cual ocasiona una serie de fenómenos e interacciones con las características terrestres, los cuales producen en los sensores remotos, respuestas espectrales particulares lo que los hace identificables. Sin embargo, es importante aclarar que no todos los sensores remotos utilizan al Sol como su fuente energética, lo que hace necesario diferenciar entre sensores activos y pasivos, Estos se explican a continuación:

1.3.11.1. Sensores Activos

Los sensores denominados activos no dependen de una fuente de energía externa para activarse; pues generan su propia energía, estos proyectan la energía hasta sus objetivos, obteniendo así una respuesta espectral. Los sensores activos con respecto a los sensores pasivos presentan una ventaja, que pueden obtener mediciones sin importar la hora del día o estación del año; asimismo, es posible estudiar la respuesta espectral de objetos con respecto a longitudes de onda de menor energía incidente, e inclusive no se ven afectados por la presencia de nubes, (Bermúdez, 2015).

1.3.11.2. Sensores Pasivos

Son aquellos sensores que sólo pueden ser empleados en detectar energía cuando existe una fuente natural o externa (Sol). En la mayoría de los casos, solamente es posible el funcionamiento de dichos sensores en el día. La actividad en la noche es mínima, y solo podría ser captada la energía emitida por los mismos objetos, (Bermúdez, 2015).

1.3.12. Características de los sensores remotos

Los sensores remotos pueden ser valorados por una serie de características propias lo cual hace que sean adecuadas para una u otra labor, llegando así a la especialización, por eso es de suma importancia considerar estos aspectos a la hora de trabajar con un determinado sensor. Estas características se mencionan a continuación.

❖ **Los sensores remotos se componen básicamente de los siguientes elementos**

1. Fuente de energía, pasiva o activa
2. Trayectoria y su interacción con la atmósfera
3. Incidencia en la superficie terrestre
4. Satélite
5. Ciclo de toma y descarga de datos
6. Estación terrena de pre-procesos
7. Información al usuario

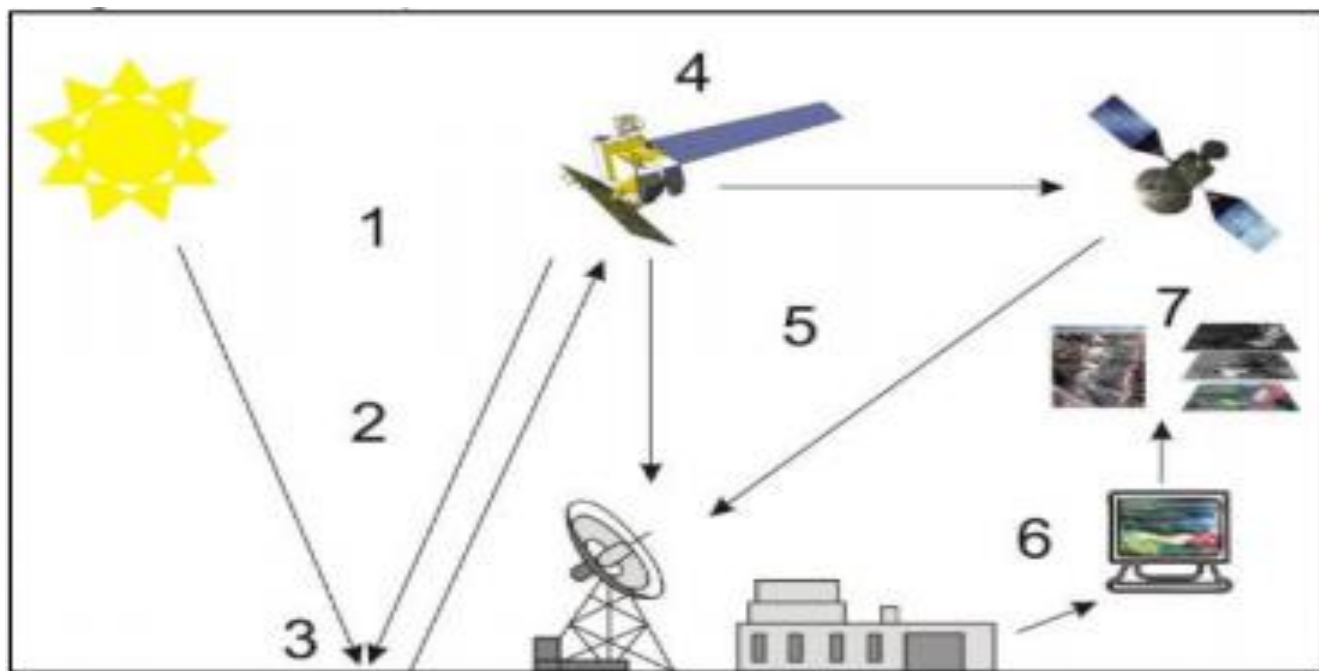


Figura 6. Componentes de los sensores remotos

Fuente. (Narvaez, 2015).

1.3.13. Resolución de los sensores remotos

Varios satélites modernos tienen la capacidad de reorientar en cualquier dirección (*off-nadir*) el sensor durante la adquisición de imágenes y tomar franjas adyacentes en una única pasada. Este hecho se traduce en un aumento del ancho de barrido práctico del satélite, lo cual supone un incremento importante en la capacidad de adquisición de imágenes de los satélites que poseen esta tecnología. También hay que tener en cuenta que los satélites con órbita cuasi polar pueden tomar muchas más imágenes de altas latitudes que de las zonas ecuatoriales debido al incremento del

solape en anchos de barridos adyacentes, ya que las trayectorias de la órbita pasan todas muy juntas cerca de los polos. Los sensores instalados en los satélites de teledetección poseen una serie de particularidades que determinan las características de las imágenes que van a proporcionar. Estas características vienen definidas básicamente por diferentes tipos de resolución:

❖ **Resolución espacial**

La resolución espacial es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital el píxel es generalmente de forma cuadrada, por lo que la longitud medida sobre el terreno de un lado del píxel define la resolución espacial del sensor. La resolución espacial de un sensor se suele expresar en metros o metros/píxel. Son varios los factores que determinan la resolución espacial de un sensor remoto (distancia sensor-superficie terrestre, ángulo de visión y campo de visión instantáneo). Para el caso de los sensores a bordo de satélites estos factores son prácticamente fijos, por lo que la resolución espacial puede ser considerada constante, siempre y cuando el ángulo de visión no sea grande. Por ejemplo, la resolución espacial del sensor del satélite GEOEYE-1 es de 1,64 m en visión vertical (nadir) pero a 28° pasa a ser de 2,00 m, un 22% menor.

Cuanto mayor sea la resolución espacial, es decir, menor superficie represente un píxel de la imagen, más pequeños serán los objetos que se pueden distinguir en la superficie y viceversa. A modo de ejemplo, una imagen con una resolución de 0,5 m/píxel permitirá distinguir objetos más pequeños que una imagen de 2 m/píxel. Para que un objeto homogéneo pueda ser detectado, su tamaño tiene que ser generalmente igual o más grande que la superficie de terreno que representa un píxel. Si el objeto es más pequeño puede que no sea detectado y el sensor grabará un promedio de todo lo que haya dentro. Sin embargo, algunas veces se detectan objetos muy pequeños porque su reflectancia domina dentro de la superficie del píxel, (García, Brondo, & Pérez, 2012, pág. 16).

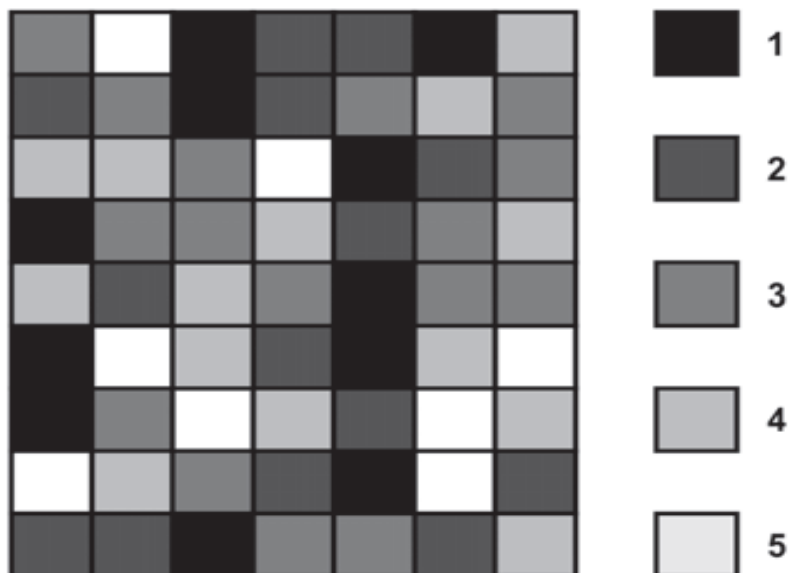


Figura 7. Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada.

Fuente. Proyecto SATELMAC, Programa de Cooperación Transnacional Madeira – Azores – Canarias, (García, Brondo, & Pérez, 2012, pág. 16).

❖ Resolución espectral

La resolución espectral de un sensor expresa su aptitud para separar señales de longitudes de onda diferentes y depende del dispositivo de filtro óptico que separa la radiación incidente en bandas espectrales más o menos amplias. La resolución espectral indica el número y la anchura de bandas espectrales en que un sensor registra la radiación. Por ello cuanto mayor sea el número de bandas y más estrechas sean, tanto mejor es la resolución espectral, mayor la capacidad del sensor para reproducir la respuesta del objeto observado y, en consecuencia, la posibilidad de discriminar unas coberturas de otras. Si las bandas espectrales son muy amplias, supone que se registra un valor promedio de radiación. Por ejemplo, una banda visible nos da información acerca del albedo de una superficie, pero no permite discriminar la vegetación de otro tipo de coberturas, (García, Brondo, & Pérez, 2012, pág. 18).

Para el territorio de Guatemala, la principal fuente proviene de los sensores LANDSAT, operados por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés). Estos satélites han estado observando el planeta desde el inicio de la década de los años 70, primero con el sensor MSS (Multi Spectral Scanner) en los satélites 1, 2 y 3, complementado en la década de los años 80 con el sensor TM (Thematic Mapper) en los satélites 4 y 5, y sustituido en la pasada década por el ETM (Enhanced Thematic Mapper) colocado en el satélite 7 (el satélite 6 nunca alcanzó órbita). Desafortunadamente, en 2004, el sensor ETM del LANDSAT 7 se averió, rompiendo así la secuencia más larga existente de información digital de una misma familia de satélites (los anteriores satélites ya estaban fuera de operación), (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

Los satélites LANDSAT sobrevuelan el mismo punto del planeta cada 16 días captando imágenes en seis diferentes bandas de luz, tres visibles y tres infrarrojas cercanas, todas con una resolución espacial de 30 metros (cada unidad de información de 30 m se denomina píxel). Adicionalmente, se capta una banda de luz infrarroja térmica con una resolución de 60 metros y una banda pancromática con una resolución de 15 metros (sólo en el LANDSAT 7). Esa resolución espacial se considera intermedia y es apropiada para mapeos de regiones relativamente extensas con detalles adecuados para escalas de 1:50,000, (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012). Cada imagen LANDSAT cubre un área de 180 x 180 Km.

1.3.14. Zonificación forestal

La zonificación forestal es un importante instrumento que permite identificar, agrupar y ordenar los terrenos forestales y preferentemente forestales por funciones y subfunciones biológicas, ambientales, socioeconómicas, recreativas, protectoras y restauradoras, con el objetivo de propiciar una mejor administración de los recursos y contribuir al desarrollo forestal sustentable.

A partir del uso de sistemas de información geográfica es posible interactuar con capas de información acerca de la distribución y superficie de variables ambientales como suelo, clima, edafología, geología, hidrología, provincias fisiográficas y topografía, regiones ecológicas y tipos de vegetación. Se emplean procesos que permiten integrar las diferentes variables de interés para generar nuevas capas de información; en este caso se generó información que representa los indicadores determinados para cada categoría de zonificación basada en tres funciones:

- Protección y conservación de los recursos por encontrarse amenazados de alguna forma.
- Producción forestal maderable y no maderable
- Restauración de ecosistemas forestales degradados por factores naturales o antropogénicos.

1.3.15. Cobertura y uso de la tierra

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. (Bermúdez, 2015, pág. 17).

El estudio de la cobertura y uso de la tierra contribuye al conocimiento de las formas de apropiación y construcción territorial, a la explicación de la interrelación entre los sistemas natural y social, a la indagación sobre las - dinámicas de los procesos de asentamientos y de los sistemas territoriales y al análisis sintético de la realidad territorial.

La cobertura terrestre comprende los atributos de la tierra: cuerpos de agua, vegetación, los diferentes tipos de construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos con nieve y superficies húmedas, algunos de estos naturales y otros afectados y/o productos de las necesidades del hombre, (Forero, 1981, pág. 510).

Los atributos de la tierra pueden ser directamente observados en fotografías aéreas e imágenes de satélite. En su estudio, es necesario la extracción de la información de los diferentes tipos de cobertura contenida en las imágenes; esto es el ordenamiento o arreglo de los objetos observados dentro de grupos o conjuntos sobre la base de sus propiedades. La clasificación debe considerar un propósito específico, determinar la escala de trabajo, generar categorías de clasificación, y generar cartografía con información compilada y relevante para diferentes estudios; por ejemplo, cuantificar los recursos existentes en una región, determinar los remanentes de vegetación o de diversidad en un área, ordenamiento territorial y ambiental e incluso iniciar procesos en el campo agrícola con la agricultura de precisión, (Castañeda, Montoya, & Escobar, 2006).

1.3.15.1. Cobertura de la tierra

En términos puntuales para la delimitación de las coberturas de la tierra se describe la cobertura como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisonómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima, (IDEAM, 1997).

1.3.15.2. Uso de la tierra

El término uso implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano para, el uso se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la tierra como el uso urbano, agrícola o protección. El uso de la tierra está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Esta definición establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente.

1.3.16. Clasificación de las coberturas y uso de la tierra

Es definido como el ordenamiento o arreglo de los objetos dentro de grupos o conjuntos sobre la base de sus relaciones; describe un armazón sistemático con los nombres de las clases y los criterios usados para distinguirlos entre ellos, así

como las relaciones entre las clases. La clasificación necesariamente requiere de la definición precisa y clara en lo posible cuantitativa y sobre el criterio de un objetivo único, de los límites de las clases.

La cobertura vegetal como una clase de las coberturas comprende todo el manto vegetal de un territorio dado. Es de importancia por su capacidad asimilatoria de energía solar, por ser productor primario de casi todos los ecosistemas, y por la relación con los otros componentes del subsistema biofísico (estabilización de pendientes, control de erosión, control hídrico, definición de microclimas locales y hábitat de especies), (Castañeda, Montoya, & Escobar, 2006).

1.3.17. Cuantificar y espacializar

Los diferentes tipos de cobertura y usos de la tierra existentes en una finca simultáneamente, podría tenerse también interés en evaluar su estado, Analizar el cumplimiento de las normas ambientales relacionadas con las coberturas y usos actuales, Evaluar el cambio temporal y espacial que sufren las coberturas por el uso que el hombre les da, así como por efecto de las condiciones naturales, plantear usos ambiental y agronómico de acuerdo a los tipos de cobertura existentes en fincas, cuyos usos ya están implementados puede ser recomendable el cambio de uso sobre ciertas áreas de coberturas, bien sea para protección y/o cumplimiento de las normas.

1.3.18. Usos de los sistemas de información geográfica para el control, monitoreo y planificación

1.3.18.1. Incendios forestales

La utilización de SIG en relación con los incendios forestales tiene aplicaciones en varios aspectos como la prevención, la detección y el control y seguimiento de la evolución. La información proporcionada por el satélite LANDSAT es la principal fuente de información espacial para esta área.

1.3.18.2. Plagas forestales

En esta área pueden señalarse como aplicaciones principales la determinación de zonas de riesgo, el seguimiento del comportamiento y evolución de plagas, y el diseño de redes de trampas y puntos de control. La fotografía aérea cuenta aquí con una especial relevancia en cuanto a la adquisición de datos. Se complementa con las imágenes de satélite y su análisis posterior con SIG, (Fernandez & Rodenas, 1999).

1.3.18.3. Impacto de la contaminación ambiental

Se han constatado aplicaciones en la estimación de emisiones de CO₂ y sus efectos en la vegetación. La contaminación de aguas y sus consecuencias en la vegetación de ribera es otra de las áreas en la que la aplicación de los SIG posibilita un estudio y seguimiento óptimo.

1.3.18.4. Ordenación territorial

Los principales usos de los SIG en este ámbito están relacionados con la gestión de áreas que han sufrido un cambio de uso del suelo (agrícola a forestal, forestal a agrícola, agrícola a urbano), los espacios susceptibles de usos múltiples: recreativo, productivo, cinegético, extractivo; y el estudio de la organización espacial. Entre los SIG empleados destacan: MAGIS, ARC/INFO, IDRISI, ERDAS e ILWIS. Las imágenes de satélite constituyen el elemento básico que proporciona la información si se trata de la ordenación territorial de grandes espacios, (Fernandez & Rodenas, 1999).

1.3.18.5. Estimación de la biomasa residual

La biomasa residual forestal puede aprovecharse energéticamente, presentando así un doble beneficio: en primer lugar, si eliminamos estos residuos de los bosques podrán minimizarse los impactos ambientales derivados de plagas o incendios y, en segundo lugar, el propio aprovechamiento de esta madera como fuente de energía renovable, con las ventajas que esto conlleva, como el balance neutro de CO₂. También se puede hacer algo similar con la biomasa residual procedente de cultivos

agrícolas, como sería el zuro y cañote de maíz, los residuos de girasol, la paja de cereales, sarmientos de vid, etc. o poda de árboles como el olivo.

1.3.19.6. Restauración de los sistemas forestales

Principalmente su utilización destaca en la localización y estimación del grado de deforestación y sus efectos en los ecosistemas forestales, principalmente en aquellos más aislados. La simulación de situaciones de riesgo y sus efectos para determinar las medidas de restauración es otro de los aspectos trabajados con SIG. La utilización de imágenes de satélite y fotografía aérea son las principales fuentes de información, (Fernandez & Rodenas, 1999).

1.3.18.6. Relación entre suelo y bosque.

Las relaciones entre los suelos y los bosques son mucho más complejas y de largo alcance. Los suelos y los bosques están intrínsecamente vinculados y tienen importantes repercusiones mutuas y sobre el medio ambiente en general. Las interacciones entre los bosques y los suelos forestales ayudan a mantener las condiciones ambientales necesarias para la producción agrícola. Estos efectos positivos son de largo alcance y contribuyen, en última instancia, a garantizar un sistema alimentario productivo, medios de vida rurales mejorados y un medio ambiente sano frente a los cambios. Guatemala está ubicado en una posición geográfica que le permite poseer varios ecosistemas terrestres teniendo entre cada ecosistema una interacción sostenible de vida y garantizando los diferentes servicios epistémicos directos e indirectos hacia la sociedad.

1.3.19. Actividades antropogénicas que causan la degradación de la cobertura forestal

❖ Avance de la frontera agrícola

Se denomina frontera agropecuaria o agraria a la zona de división entre las tierras ocupadas con cultivos o cría de ganado y las tierras no ocupadas por actividades agrarias, donde sólo crece vegetación natural que se aprovecha, o no, para otros usos (por ejemplo, la caza y la recolección de frutos o la explotación maderera).

El avance de la frontera agraria implica un proceso de asentamiento de la población y apropiación de las nuevas tierras por parte de los productores, quienes organizan en ellas sus explotaciones agropecuarias. En este proceso de avance, las condiciones naturales de la zona cambian porque se reemplazan algunos elementos naturales (como la vegetación natural) por otros nuevos (como los cultivos).

Una de las características de este problema es que se realiza mayoritariamente por campesinos y personas de escasos recursos o de recursos mínimos, ya que la mayoría de personas siembran casi en su totalidad para cubrir sus necesidades familiares o de su comunidad, y ventas al mercado local. Una variación de este problema es la utilización de las tierras deforestadas para el pastoreo de animales entre ellos ganado.

Esto tiene como efecto la pérdida de masa forestal, la erosión de los suelos, ya que los bosques son los encargados de la captación de agua y de la filtración de la misma hacia los mantos freáticos y depósitos subterráneos, por lo que al desaparecer los bosques el agua corre libremente lo cual ocasiona inundaciones, asolvamiento de ríos los cuales afectan a la sociedad en general, también la erosión en laderas y montañas provocan los derrumbes ya que la tierra se afloja con el agua y son las raíces profundas de los árboles las que compactan la tierra y la sostienen para evitar que esta se deslice, (Palacios, 2018).

❖ Tala ilícita

La definición de tala ilícita va desde la obtención de la leña para uso doméstico sin la documentación, hasta el cambio de uso de la tierra en zonas de reserva o en áreas protegidas, y principalmente el enfoque desde el concepto de tala ilegal. Es importante al inicio clasificar los términos legal e ilegal. La tala legal o manejo forestal se conforma de una serie de leyes nacionales y criterios o normas que regulan la extracción forestal, su procesamiento, el transporte y el comercio es por consiguiente más que una extracción legalmente autorizada. En lo que concierne a la producción ilegal de madera existen de dos tipos.

El primer tipo son las extracciones de especies forestales que tienen un alto valor comercial en el mercado nacional e internacional, en donde los depredadores talan y transportan ilegalmente esta madera, cuyos árboles muchas veces ni siquiera tienen el diámetro mínimo de corta. Los árboles son talados, aserrados con motosierra y extraídos durante la noche y los tablonos, son transportados en camiones, tratando de disfrazar la carga para burlar a las autoridades encargadas del control en las carreteras. La madera es comercializada en depósitos de madera, o bien, se lleva de contrabando a otros países.

El segundo tipo se da a nivel de comunidades rurales en donde por diversas causas, que pueden ser falta de empleo, estructura organizativa, asistencia técnica entre otras. Los bosques son talados sin un plan de manejo que guíe el aprovechamiento racional del recurso forestal. Los árboles son talados y aserrados con sierras de tipo manual o con motosierras, y la madera aserrada es extraída y transportada con fuerza humana, bestias de carga o camiones pequeños y distribuida en depósitos de madera o ventas de leña clandestinos. Las áreas más afectadas por este tipo de extracción son los bosques de coníferas, especialmente ***Pinus oocarpa***, ***Pinus maximinoi***, ***Pinus rudis***, ***Pinus ayacahuite*** y ***Abies guatemalensis***, (Palacios, 2018).

❖ **Crecimiento demográfico**

El crecimiento poblacional ha venido en aumento con el tiempo y a su vez afectando nuestro alrededor, limitando el espacio físico, el deterioro ambiental y la pérdida de cobertura están íntimamente ligados con el crecimiento demográfico, ya que se ven afectados con la búsqueda de nuevos territorios en los cuales coexistir. Otro problema causado por el aumento de población es la sequedad y contaminación de cuerpos de agua.

❖ **Extensión de infraestructura**

Consiste en acondicionar una porción de terreno y prepararlo para su uso urbano, abriendo calles y dotándolas de luz, pavimento y demás servicios, Efecto del crecimiento de las ciudades y difusión de lo urbano por el territorio. Se producen cambios en el comportamiento y en las relaciones sociales. Los caminos y carreteras construidos a través de áreas forestales dan acceso a otros usuarios de la tierra; las represas hidroeléctricas ocasionan inundaciones entre otros problemas.

❖ **Políticas y factores institucionales**

Políticas formales, Tributos sobre las exportaciones etc. La existencia de normativas costosas, excesivas y burocráticas y la incapacidad de control y vigilancia de los recursos por parte de los servicios forestales inciden directamente en los beneficios económicos que se obtendrían con el manejo forestal y, en consecuencia, alientan la ilegalidad. El costo que implica la legalidad del producto es muy elevado debido a la cantidad de trámites y requisitos exigidos.

1.3.20. Efectos antropogénicos que producen los problemas ambientales en el ámbito forestal.

Los problemas ambientales son el conjunto de hechos, circunstancias y factores que alteran el estado normal del medio ambiente, afectando a las personas desde diferentes puntos de vista entre ellos: económicos, jurídicos, sociales, culturales, y de salud entre otros. La identificación de algunos problemas ambientales ha sido posible, debido a que la magnitud de los mismos los hace evidentes, incluso a los sentidos de cualquier persona sin formación científica en aspectos ambientales.

❖ **Efectos económicos**

Desde el punto de vista económico, la deforestación se ve como un enemigo de consecuencias funestas para el sector económico del país, ya que resta posibilidades de generar ingresos para diversos sectores de producción, tal es el caso del sector maderero, industrial, de comercio y por ende el sector laboral.

En la actualidad, el sector maderero ve como a un ritmo acelerado la materia prima de su trabajo que es la madera, va mermando en cuanto a su porcentaje de abastecimiento, esto debido a la falta de un proceso de planificación de aprovechamiento sostenible de los recursos forestales del país, ya que el ritmo desmedido de la tala a nivel nacional y la falta de preocupación para reforestar las áreas taladas, ha ocasionado que en gran parte de suelos de vocación forestal hayan sido eliminados por completo los bosques y por consiguiente la madera necesaria para el comercio, Por último, se ve afectada la población en general en torno al aspecto laboral ya que a medida que se ve afectada la industria de la madera, las compañías tienen que recortar el personal de sus fábricas, causando desempleo y pobreza para el país.

❖ **Efectos educativos**

La educación ambiental, al integrarse dentro del sistema educativo, requiere de la introducción de nuevas concepciones pedagógicas y didácticas, haciendo hincapié en los aspectos social y humano, el educador debe facilitar el descubrimiento de estos. Para ello es necesario crear un clima de confianza y respeto mutuo, de manera que la persona pueda expresarse y sentir que su origen es valorado y su sistema de vida contribuye a enriquecer otras culturas, promoviendo el desarrollo.

Por lo tanto, la educación ambiental se define como: “La acción educativa permanente, por medio de la cual el individuo llega a tomar conciencia de su realidad global, de las relaciones que se establecen entre sí y con su naturaleza, de sus problemas derivados, sus causas; y desarrolla, mediante la práctica, su vinculación con la comunidad, promueve un comportamiento dirigido a la transformación de esa

realidad en los aspectos naturales y sociales, manteniendo su salud física y mental, (Palacios, 2018).

❖ **Efectos culturales**

La economía del país se ha basado desde tiempos anteriores a la conquista en un sistema agrario de producción, por lo que los habitantes y en su mayoría los del área rural, han practicado un estilo de vida y una cultura basados en la agricultura, carente de planificación y de uso sostenible de los suelos, por lo que al agotarse la fertilidad de las tierras cultivables, se ven obligados en la necesidad de emigrar en búsqueda de nuevas tierras fértiles; siendo Guatemala un país con suelos de vocación forestal, ha poseído una enorme extensión de bosques, los cuales son deforestados para satisfacer las necesidades de cultivo de la población, así también para el aprovechamiento industrial de la madera y obtención de leña como recursos energético para cocinar los alimentos.

❖ **Efectos sociales**

Es directamente en la sociedad en donde se ven reflejados la variedad de problemas que causa la deforestación de los bosques, los cuales alteran la vida normal de todas las personas. Los problemas que más afectan a la población son: la erosión de los suelos, la que causa que en época de lluvia la tierra no posea la capacidad de absorción necesaria y esto provoca que se den fuertes inundaciones y deslaves lo que causa daños a los cultivos, a las viviendas y daños físicos pudiendo ocasionar la muerte así como derrumbes en caminos y carreteras de todo el país, ocasionando problemas de comunicación a los medios de transporte que afecta a la economía y a los diversos sectores de producción, (Palacios, 2018).

❖ **Efectos científicos**

Las especies forestales desde la antigüedad han sido muy importantes para la ciencia en general y han sido más utilizadas por las ciencias médicas, ya que a partir de

los compuestos orgánicos que se encuentran en sus diversas partes como raíces, tallos, cortezas, hojas, savia, frutos y semillas se han creado un gran número de medicamentos que ayudan a combatir un gran número de enfermedades y existen algunas enfermedades que solamente se pueden curar gracias a las medicinas que se producen de las plantas.

❖ **Efectos en el medio natural**

Las primeras evaluaciones de los recursos forestales estaban orientadas a las funciones productivas de los bosques, sobre todo la producción de madera, aspecto que los planificadores identificaron como prioritarios. En muchos países, sin embargo, hay una percepción cada vez más clara de las funciones de protección y de prestación de servicios ambientales de los bosques, así como de la importancia de tales servicios para la ordenación forestal sostenible. Cada nueva evaluación ha otorgado mayor atención, por tanto, a los servicios ambientales prestados por los bosques.

Los bosques del mundo tienen muchas funciones protectoras, algunas locales y otras globales, incluyendo la protección del suelo frente a la erosión eólica y por agua, la protección costera y el control de aludes, además de actuar como filtros contra la contaminación del aire. Se han hecho varios estudios temáticos sobre los bosques en el que se incluye información cuantitativa y cualitativa sobre el papel de los bosques en la regulación, la protección y la conservación del agua en distintos ecosistemas tanto naturales como creados por el hombre.

Sin embargo, los bosques actualmente se encuentran sujetos a varias alteraciones que están, a su vez, fuertemente influidas por el clima. Hay alteraciones como talas inmoderadas a nivel mundial, incendios, sequías, corrimientos de tierra, especies invasoras, insectos y brotes de enfermedades, así como fenómenos climáticos como huracanes, vendavales y granizadas que influyen en la composición, estructura y funciones de los bosques, se espera que el cambio climático afectará a la susceptibilidad de los bosques frente a las alteraciones, y también a la frecuencia, la intensidad, la duración y las épocas de estas alteraciones. Por ejemplo, el aumento en la acumulación de combustible en los bosques, temporadas de incendios más largas y

una mayor ocurrencia de condiciones climáticas extremas, como consecuencia del cambio climático, se espera que aumentarán la frecuencia e intensidad de los incendios forestales afectando así la calidad de vida de la sociedad. (FAO, 2010).

1.4. Marco Legal

En el siguiente apartado se presenta una serie de conceptos y definiciones que amparan y fundamentan la parte legal de la presente investigación, porque cumplen un rol importante dentro de los parámetros permisibles del manejo adecuado de los recursos naturales, la administración adecuada de la tenencia de los suelos y el manejo sostenible del mismo en el país de Guatemala, esto permite tener un control legal respecto a la actuación social sobre la cubierta arbórea.

La Constitución Política de la República de Guatemala de 1985, en la Sección décima, capítulo II, Derechos Sociales, refiere a los bosques.

Artículo 126. Reforestación. Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de protección especial.

La reforestación o la repoblación arbórea son una de las actividades principales en el ciclo de un manejo forestal sostenible, esta actividad silvícola es muy necesario puesto a que actualmente la destrucción de grandes extensiones de bosques a remoción de la cubierta verde de la superficie de la tierra se ha vuelto común debido a varias razones, tales como incendios forestales, el avance de la frontera agrícola, necesidades humanas, tala y minería. Ante todo, esto las prácticas silvícolas toman un papel fundamental en la recuperación de la cobertura boscosa y la protección del mismo, amparándose a través del presente artículo y demás leyes existentes que enfatizan el uso adecuado de los recursos arbóreos en Guatemala.

Los bosques son un recurso vital que impulsa la economía de la sociedad y promueve una buena calidad de vida del ser humano, sin embargo, esto se da a través de las buenas prácticas silvícolas que permiten el aprovechamiento forestal maderable y no maderable de manera sostenible ejecutando actividades que promuevan la recuperación de la cobertura boscosa garantizando así la calidad de vida de las futuras generaciones.

El Código de Salud, Decreto No. 90 – 97, en la Sección II, del Capítulo IV salud y ambiente, ley que cuenta con la misma jerarquía legal que la Ley Forestal, establece lo siguiente:

Artículo 84. Tala de árboles. Se prohíbe terminantemente la tala de árboles en las riberas de ríos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas. La transgresión a dicha disposición será sancionada de acuerdo a lo que establezca el presente Código.

La relación entre bosques y agua es muy importante, puesto que de la cobertura forestal se origina lo que es el ciclo del agua a través de los procesos de evaporación o evapotranspiración de los ríos, lagunas, lagos u océanos. Partiendo de ello los bosques entonces permiten que las aguas pluviales filtren en los suelos forestales formando así nacimientos y fuentes de agua para consumo humano, los bosques higrofiticos nubosos o brumosos son los que mantienen una relación más cercana con el agua dulce. Estos bosques están en zonas montañosas o en tierras altas envueltas por una bruma frecuente y persistente, en particular en la intersección directa de las nubes impulsadas por el viento con la superficie. Presentes sobre todo en las zonas tropicales o en las partes altas del país.

El entorno natural se basa en la cubierta forestal y la belleza escénica que proporcionan los bosques, son varios los servicios ecosistémicos directos e indirectos que los bosques proporcionan a la sociedad y a la vida silvestre de manera vital. Esto implica que la destrucción del mismo da paso a una gran crisis en respecto a calidad de vida y pérdida de una gran riqueza de biodiversidad en el país de Guatemala.

El Congreso de la República de Guatemala en el año 1996 crea la Ley Forestal Decreto 101-96, con fundamento en los siguientes artículos de la constitución política de Guatemala.

Artículo 64. Patrimonio natural. Se declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. El Estado fomentará la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales, los cuales son inalienables. Una ley garantizará su protección y la de la fauna y la flora que en ellos exista.

Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso.

La ley forestal crea al Instituto Nacional de Bosques (INAB), cuyas principales atribuciones se pueden sintetizar así: ejecutar la política forestal nacional, promover y fomentar el desarrollo forestal del país, el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la investigación y desarrollar programas y proyectos especiales para frenar el avance de la frontera agrícola y conservación de los bosques naturales.

Las áreas protegidas son esenciales para conservar la biodiversidad natural y cultural. Los bienes y servicios ambientales que brindan son esenciales para la

sociedad, de acuerdo al Concejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), define a las áreas protegidas a todos aquellos territorios legalmente declarados que cuentan con objetivos de conservación, manejo racional o prohibición de aprovechamiento, estas áreas protegidas están clasificadas en cinco en 6 categorías:

- ✓ Categoría tipo I: Parque nacional y reservas biológicas.
- ✓ Categoría tipo II: Biotopo protegido, monumento natural, monumento cultural y parque histórico.
- ✓ Categoría tipo III: Área de uso múltiple, manantial, reserva forestal, refugio de vida silvestre.
- ✓ Categoría tipo IV: Área recreativa natural, parque regional, rutas y vías escénicas.
- ✓ Categoría tipo V: Reserva natural privada.
- ✓ Categoría tipo VI: Reserva de biósfera.

Fuera de estas áreas existe de igual manera normativas, reglamentos y leyes que regulan el uso de la cubierta arbórea en Guatemala como lo es la ley forestal lo cual también ampara e impulsa un manejo adecuado de la masa boscosa con base a un aprovechamiento forestal sostenible. A través de la aprobación de la ley se crea el Instituto Nacional de Bosques (INAB) mediante el Decreto Legislativo 101-96 los cuales queda como principal ente ejecutor de la misma por medio de los programas que promueve ello da paso a una buena utilización de los recursos forestales y los diferentes servicios ecosistémicos que las especies arbóreas brindan a la sociedad.

El Congreso de la República de Guatemala decreta en el año 2010 la Ley de Incentivos Forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierras de vocación forestal o agroforestal PINPEP Decreto 51-2010, en el Capítulo V seguimiento y evaluación de proyectos hace referencia.

Artículo 35. Investigación forestal. Los titulares deben permitir el ingreso a los proyectos incentivados con el fin de generar investigación forestal, según las líneas priorizadas en el programa nacional de investigación forestal. Además, los

titulares de proyectos deben facilitar el ingreso a entidades académicas que realicen investigaciones forestales en coordinación con el INAB, quien coordinará y notificará al beneficiario.

La Ley PINPEP beneficia básicamente a toda aquella persona que posee extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal y que de voluntad propia ingresa al programa, esta ley genera un gran beneficio de doble vía, tanto para el poseedor del terreno y al mismo tiempo para los bosques debido a que por medio de un incentivo económico que se le entrega al usuario de PINPEP este debe implementar acciones para la conservación de la cubierta arbórea, promoviendo de esta manera la sostenibilidad de los recursos naturales y la generación de información sobre el estado de la calidad de los bosques a nivel nacional.

El Acuerdo Legislativo del Congreso de la República de Guatemala en el año 2013 decretó la Ley del marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero Decreto 7-2013 en el Capítulo III, sección primera.

Artículo 12. Ordenamiento Territorial para la Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia –SEGEPLAN prestarán la colaboración que las municipalidades del país necesiten para adecuar sus planes de ordenamiento territorial, para los fines de la presente ley.

La presente ley enfatiza la regulación y la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero, permite al Gobierno a incidir en los diferentes espacios de participación para que de manera urgente se inicien las respectivas gestiones para su oportuna implementación.

Debido a que el fenómeno del cambio climático es uno de los grandes desafíos que enfrenta nuestro país donde el impacto pone en riesgo los diferentes ámbitos de vida tanto en el contexto social como natural, Los niveles de pobreza general y pobreza

extrema, la falta de ordenamiento territorial, la deforestación, la pérdida y degradación del suelo, los niveles de contaminación ambiental, el aumento poblacional, la desnutrición e inseguridad alimentaria, y la concentración de habitantes alrededor de las ciudades en zonas de alto riesgo son factores que aumentan la vulnerabilidad del país. Esta fragilidad socioeconómica contribuye a que los impactos de los eventos extremos sean aún más devastadores.

Es importante detener el avance del mismo. A través de esta ley se pretende introducir una forma de vida con nuevos hábitos y prácticas ambientales, forestales y agrícolas enfatizando de esta manera la calidad de vida humana, seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los recursos naturales, evitar continuar deteriorando el ambiente y haciendo un uso no racional de los recursos naturales demanda la responsabilidad de todos en buscar soluciones apropiadas, coherentes y decididas, para beneficio de la población guatemalteca.

Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático suscrito en Kyoto Japón el 27 de abril de 1998, Ratificada por los 33 países de América Latina y el Caribe, hace mención.

Artículo 4. Compromisos. Promover y apoyar con su cooperación la investigación científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y de otra índole, la observación sistemática y el establecimiento de archivos de datos relativos al sistema climático, con el propósito de facilitar la comprensión de las causas, los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático, y de las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta y de reducir o eliminar los elementos de incertidumbre que aún subsisten al respecto.

Para Guatemala los problemas climáticos representan una carga adicional y desproporcionada. Para que el país logre avanzar hacia el desarrollo sostenible se hace necesario una adecuada planificación y la adopción de medidas en el ámbito económico, social y ambiental. El establecimiento de normas de adaptación, de mitigación y reducción de vulnerabilidad a repercusiones ambientales representan una

oportunidad de transformar el modelo de cambio a uno menos vulnerable, más inclusivo y con bajas emisiones, la importancia entonces de este tipo de estudios recae en la información que se obtiene sobre la dinámica de los recursos forestales sí es positivo o negativo a través de los años de estudio, estos datos ayudan y contribuyen a las instituciones competentes a planificar y ejecutar proyectos que inculquen prácticas silvícolas sostenibles reduciendo así la destrucción de la cobertura forestal y el avance de la frontera agrícola asegurando de esta manera una mejor resiliencia de las comunidades ante el fenómeno del cambio climático.

El Acuerdo Legislativo del Congreso de la República de Guatemala decretó la Ley de Fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo producción y protección de bosques en Guatemala –PROBOSQUE- (decreto No. 2-2015), en el capítulo I, disposiciones generales.

Artículo 1. Objeto. La presente Ley tiene por objeto aumentar la cobertura forestal del país con la creación y aplicación del Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques, a través del cual se otorgarán los incentivos contemplados en esta Ley. Este programa, para los efectos de la presente Ley, se denomina PROBOSQUE.

Artículo 2. Objetivos. La presente Ley contribuirá al desarrollo rural del país en armonía con el ambiente, a través del fomento de inversiones públicas y privadas dirigidas al cumplimiento de los objetivos específicos siguientes:

a) Aumentar la cobertura forestal, mediante el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques que aseguren la producción de bienes y la generación de servicios ecosistémicos y ambientales y la protección de cuencas hidrográficas.

b) Dinamizar las economías rurales, a través de inversiones públicas en el sector forestal, orientadas a la generación de empleo en las actividades directas y los servicios que requieren el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección forestal y agroforestal.

c) Incrementar la productividad forestal mediante el establecimiento de plantaciones forestales con fines industriales y energéticos y el manejo productivo de bosques naturales, disminuyendo la presión sobre los bosques naturales y otros recursos asociados.

d) Fomentar la diversificación forestal en tierras de aptitud agrícola y pecuaria y la restauración 3 de tierras forestales degradadas, a través de sistemas agroforestales, plantaciones forestales y otras modalidades que contribuyan a la provisión de leña y madera en el área rural y a la recuperación de la base productiva y protectora en tierras forestales degradadas.

e) Contribuir a garantizar los medios de vida, la seguridad alimentaria, la seguridad energética, y la mitigación y la reducción de riesgos a desastres naturales asociados a los efectos de la variabilidad y cambio climático y la protección de la infraestructura rural de la población guatemalteca, a través del fomento de actividades de establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques.

Con el objetivo de proteger y promover el manejo sostenible de los recursos naturales se crea la ley PROBOSQUE y queda como actor principal para su ejecución el Instituto Nacional de Bosques (INAB) a través de varias modalidades de proyectos referentes a la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales, esta ley tiene como objetivo principal la contribución a una buena administración de los recursos naturales e impulsando la economía del país Contribuyendo y garantizando los medios de vida, la seguridad alimentaria, la seguridad energética, y la mitigación y la reducción de riesgos a desastres naturales asociados a los efectos de la variabilidad y cambio climático y la protección de la infraestructura rural de la población guatemalteca, a través del fomento de actividades de establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques.

El Acuerdo Legislativo del Congreso de la República de Guatemala decretó la Ley Forestal de Guatemala Decreto 101-96), en el título IV, capítulo II, Protección de los bosques y de los suelos de vocación forestal.

Artículo 46. Cambio de cobertura. Para toda área cubierta con bosque de una extensión mayor a una hectárea cuya cobertura se propone cambiar por otra no forestal, el interesado deberá presentar para su aprobación al INAB, un estudio suscrito por técnico o profesional debidamente registrado en éste, que asegure que la tierra con bosque no es de vocación forestal, podrá autorizarse el cambio de cobertura en tierras de vocación forestal, mediante solicitud acompañada de un plan de manejo agrícola que asegure que las tierras con cobertura forestal es apta para una producción agrícola económica sostenida.

La existencia de leyes, normas y reglamentos que amparan la sostenibilidad de los recursos naturales contribuyen a contrarrestar los problemas que afectan la riqueza natural del país, por medio de la ley forestal se promueve el aprovechamiento racional de la cubierta arbórea y a base de estudios técnicos-científicos se garantiza la protección de las especies y suelos netamente forestales, legalizando así por medio de licencias el uso adecuado de los recursos del bosque, por ello la importancia de ejecutar este tipo de investigación debido a que a través de la información que se obtiene se realizan proyecciones y ejecuciones de proyectos enfocados al manejo sostenible de los bosques.

El Acuerdo Legislativo del Congreso de la República de Guatemala decretó la ley forestal de Guatemala (decreto 101-96), en el título IV, capítulo II, Protección de los bosques y de los suelos de vocación forestal.

Artículo 47. Cuencas hidrográficas. Se prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, en especial las que estén ubicadas en las zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozaran de protección especial en consecuencia, estas áreas sólo serán sujetas a manejo forestal sostenible. En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación.

Una cuenca básicamente es un área delimitada de acuerdo a sus características topográficas, drenada por un sistema de tributarios y que representa el área total del terreno sobre un punto en el que drena un río. Este proceso es posible debido a que la cuenca hidrográfica está formada por tres partes: parte alta, parte media y parte baja de la cuenca, la zona más importante de la cuenca es la parte alta puesto a que ésta forma la zona de recarga hídrica, dándole origen a fuentes de agua que a través del resto de pisos altitudinales de la cuenca se desplaza hacia el mar o a algún lago. Las cuencas hidrográficas juegan un papel muy importante del ciclo hidrológico lo cual da vida a varios servicios ecosistémicos, sin embargo, ante ello los bosques son el ecosistema principal para la formación de la misma, los árboles son los encargados en la regulación de la calidad y tipos de suelos para una buena filtración de agua, mantiene la belleza escénica, de esa cuenta, son el hogar de varias especies en flora y fauna y contribuyen en el procesamiento de fuentes hídricas para el consumo humano. Son varios los servicios que promueven los bosques hacia la sociedad.

Sin embargo, en Guatemala no existe ningún marco legal específico ni una política concreta que promueva el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas del país, la existencia de algunos acuerdos y de algunas leyes han contribuido a la sostenibilidad de las cuencas, pero no se tiene un marco legal que especifique y que concretiza el tipo de manejo que se le podría dar a las distintas áreas que componen una cuenca.

El Acuerdo Gubernativo 220-2011 dado por el Presidente de la República, el Consejo de Ministros y el Honorable Consejo Nacional de Áreas Protegidas aprobaron la política nacional de diversidad biológica.

Acuerda aprobar la política de diversidad biológica, formulada por el consejo nacional de áreas protegidas en coordinación con el ministerio de ambiente y recursos naturales. Este tiene como objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos.

Guatemala ha sido identificada como parte de uno de los puntos del planeta más ricos en diversidad biológica y que a la vez se consideran altamente amenazados. Esto la define como uno de los puntos candentes para la conservación de la biodiversidad de Guatemala, en la actualidad forma parte del puente que une dos porciones continentales y que actúa como un área de intercambio de seres vivos. Este puente ha funcionado como un corredor que permite el paso de seres vivos en ambas vías, pero a la vez se ha constituido en una especie de filtro al retener a una buena parte de esas especies transeúntes, la pérdida de biodiversidad tiene causas directas e indirectas.

Cuatro de las cinco principales amenazas directas, que impactan sobre la biodiversidad mundial, se consideran como las causas más importantes de la pérdida de recursos biológicos en Guatemala, siendo estas: la pérdida, degradación y fragmentación de hábitats, la sobreexplotación de recursos vivos y no vivos, la contaminación y la degradación ambiental y las invasiones propiciadas por especies introducidas.

El Decreto Legislativo 68-86 del Congreso de la República de Guatemala establece la Ley de protección y mejoramiento del Medio ambiente, en el título II, disposiciones preliminares del objeto de ley.

Artículo 11. La presente ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

Artículo 12. Son objetivos específicos de la ley, los siguientes: a) La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general; b) La prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común, calificados así, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes; c) Orientar los sistemas educativos, ambientales y culturales, hacia

la formación de recursos humanos calificados en ciencias ambientales y la educación a todos los niveles para formar una conciencia ecológica en toda la población; d) El diseño de la política ambiental y coadyuvar en la correcta ocupación del espacio; e) La creación de toda clase de incentivos y estímulos para fomentar programas e iniciativas que se encaminen a la protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente; f) El uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos; g) La promoción de tecnología apropiada y aprovechamiento de fuentes limpias para la obtención de energía; h) Salvar y restaurar aquellos cuerpos, de agua, que estén amenazados o en grave peligro de extinción; e i) Cualquiera otras actividades que se consideren necesarias para el logro de esta ley.

Se conceptualiza a la política agraria como un componente del desarrollo rural integral, que recoge el conjunto de objetivos, acciones estratégicas e instrumentos que, en su conjunto, pretenden facilitar y ampliar el acceso a la tierra y alcanzar la certeza y seguridad jurídica sobre la tenencia, posesión y propiedad de la misma, con la finalidad de atender la conflictividad agraria y reducir sus experiencias visibles. Los conflictos.

La ley de protección y mejoramiento del medio ambiente tiene como finalidad lograr un equilibrio ecológico en el país de Guatemala, debido a los altos índices de contaminación, deforestación, cambios de uso de suelo han causado distorsiones en los patrones de los tiempos atmosféricos por lo que ha impactado significativamente en la calidad de vida de todos los ciudadanos, por ello la implementación de la presente ley en conjunto con las demás leyes aprobados por el congreso de la república de Guatemala contribuyen a promover sostenibilidad y resiliencia en los ciudadanos y futuras generaciones.

Capítulo II

2.1. Planteamiento del problema

Momostenango es uno de los municipios de Totonicapán que posee mayor cantidad de tierra de uso agrícola, casi 6,080 hectáreas. Entre clima frío y templado a pesar de que las tierras del municipio son de alta vocación forestal. Esto contribuye al avance de la frontera agrícola disminuyendo la cobertura boscosa. En el renglón productivo agrícola si bien es cierto que el área es considerablemente extensa con relación a otras áreas circunvecinas, debe considerarse también que, en la parte norte, las condiciones del suelo son críticas por su nivel de degradación, por otro lado, es una zona donde llueve menos por efectos de las altas actividades de deforestación lo que motiva a que los ciclos estacionales climáticos se distorsionan y los rendimientos de productividad de los suelos sean muy bajos.

El 90% de la población del municipio posee fuentes de trabajos informales y temporales (la agricultura de subsistencia, albañilería, jornaleros). Debido a lo anterior más del 75% de las personas utilizan los recursos naturales para la sobrevivencia de sus familias, actividades como el ocoteo, extracción de leña y madera, han contribuido a la degradación de los bosques y demás servicios ecosistémicos sumándole a ello los daños causados por los incendios forestales.

Otra problemática es la falta de conocimiento detallado de la localización e información geo referenciada sobre la cobertura forestal del municipio de Momostenango, esto hace que se permanezca en un alto grado de incertidumbre respecto al comportamiento de dicha situación al interior del territorio, trascendiendo la misma a situaciones como desaciertos en inversión pública, pérdida de recursos naturales y pérdidas económicas, produciendo el atraso en el desarrollo ambiental sostenible, lo que conlleva de alguna manera en este punto a cuestionar la capacidad técnica y administrativa del capital humano presente en la realidad del contexto.

A nivel nacional el último estudio realizado sobre la cobertura boscosa por las instituciones que componen el grupo interinstitucional de monitoreo de bosques y uso de la tierra (GIMBOT/Guatemala), fue publicado en el mes de mayo del año 2019 lo cual informan los cambios que han sufrido los bosques para el país de Guatemala entre

el periodo comprendido en los años 2010 al 2016, sin embargo la Unidad de Gestión Ambiental de la municipalidad de Momostenango (UGAM), que es el encargado de velar por estos temas, no cuenta actualmente con datos concretos respecto a la cubierta forestal total del municipio, debido a que no se tiene un dato exacto de área de bosque que las comunidades poseen, tanto en áreas privadas, como en áreas comunales o municipales. Complicando con esto la generación de información exacta acerca de la cantidad y calidad de masa arbórea y su dinámica respectiva.

Esto permite entonces el incremento de la incertidumbre sobre información específica de clasificación de la masa arbórea para el municipio de Momostenango estandarizada, que oriente la gestión del suelo y promueva acciones que se efectúen en materia de planificación, ordenamiento territorial y ambiental, todo lo descrito entorpece la organización que realizan las instituciones gubernamentales y no gubernamentales además parte de los programas y proyectos contenidos en los planes de ordenamiento que pudieran ver en la Villa, como el uso adecuado de la cobertura forestal que cubren las cuencas, Salinas, Cuilco y Samalá, pero al final solo se visualiza falta de manejo de las microcuencas que abastecen de agua a la cabecera municipal las cuales son: Palá Grande” y “Chojoyan”. La microcuenca se forma en el caserío Palá Grande. Entre las aldeas Tunayac y Pueblo Viejo se une con una corriente, originaria del río Pachaqulejbejá.

De acuerdo con lo anterior el municipio de Momostenango se encuentra en un proceso de desarrollo característico de todos los municipios del departamento de Totonicapán e incluso del país, en donde hacen falta instrumentos de planificación que fortalezcan la capacidad de análisis y gestión, aspectos que evidencian la situación actual sobre la cobertura forestal con ello poder desarrollar estrategias de manejo sostenible de los recursos naturales del territorio municipal. De todo el panorama planteado, surgen las siguientes interrogantes de investigación:

- **Preguntas de investigación**

¿Cuánta área de cobertura forestal se ha perdido gradualmente a partir del año 2013 al año 2020?

¿Cuál es la cobertura forestal total del municipio de Momostenango para el año 2020?

¿Cuál es la tasa de cambios que ha tenido las áreas con cobertura forestal del municipio tomando en cuenta las áreas con pérdidas, áreas con ganancias y áreas sin cambios?

¿Cuáles han sido las principales actividades antropogénicas que afectan la dinámica de cobertura forestal para el año 2020?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- Analizar la dinámica de la cobertura forestal en el período de los años 2013 al 2020 para el municipio de Momostenango, Totonicapán.

2.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la cobertura forestal total para el año 2020 del municipio de Momostenango.
- Evaluar la tasa de cambio de cobertura de bosques para el municipio de Momostenango comprendido entre el periodo de los años 2013 al 2020.
- Identificar las actividades antropogénicas que afectan la dinámica de cobertura forestal para el año 2020.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis Nula

- La cobertura forestal no ha sido afectada por el cambio de uso de suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

2.3.2. Hipótesis Alternativa

- La cobertura forestal ha sido afectada por el cambio de uso del suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

2.4. Variables

Tabla 3. Variable independiente y dependiente e indicadores y subindicadores.

Variab les	Indicadores	Subindicadores
Independiente		
Dinámica de la cobertura forestal	Tasas de cambio de la cobertura forestal	-Hectáreas por categoría en estudio por año -Años de estudio
	Cambio neto anual de cobertura forestal	-Área con cobertura forestal (ha) -Tasa de deforestación anual
Dependiente	Indicadores	Subindicadores
Actividades de la población de Momostenango que afectan a la degradación de sus bosques	Crecimiento demográfico	-Incremento de cobertura de las categorías en estudio -Disminución de cobertura de las categorías en estudio
	Deforestación	-Avance de la frontera agrícola -Ocoteo y extracción de resina

Fuente. Elaboración propia, Operacionalización de las variables de investigación, año 2020.

2.4.1. Definición conceptual de variable

❖ Dinámica de la cobertura forestal

La dinámica de la cobertura forestal se analiza en esta investigación desde el punto de vista del cambio en el uso de la tierra, manejo de bosques y tala ilegal. La dinámica de los derechos de la tierra en cuanto a su tenencia se ha visto afectada por distintos factores que intervienen en la relación bosque-comunidad, como la injerencia de proyectos conservacionistas para convertir bosques comunales en áreas protegidas, así como nuevas dinámicas económicas derivadas de la minería e hidroeléctricas.

En cuanto a la tenencia de la tierra, puede mencionarse que dentro de áreas protegidas predomina la tenencia estatal en un 74%, mientras que el 26% restante de la tierra es propiedad privada o municipal. Fuera de áreas protegidas predomina la tenencia privada (individual o en sociedad), aunque debe considerarse que la propiedad comunal es importante, pues se estima que el 15% de los bosques fuera de áreas protegidas son bosques comunales o municipales. Los bosques comunales son particularmente importantes en el altiplano occidental, donde los bosques se valoran por ser fuentes de agua, leña y madera. Las iniciativas de conservación del bosque dentro de la dinámica de tenencia municipal a estatal ayudan a detener el deterioro del recurso y puede favorecer las condiciones de éste, así como a reducir la amenaza sobre la biodiversidad, (Elias, Larson, & Mendoza, 2009).

Guatemala, junto a ocho países del mundo, alberga en su conjunto más del 70% de la biodiversidad del planeta en un territorio equivalente al 10% de la superficie, lo cual lo hace un país megadiverso según el Convenio sobre la Biodiversidad Biológica celebrado en Nagoya, Japón en 2010. De todos los retos enfrentados en el manejo de bienes globales, la pérdida de la biodiversidad es el único irreversible para el país y para el mundo.

❖ **Tasas de cambio de uso de suelo**

Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo, estos procesos usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en casi todas las escalas. Se ha comprobado que la destrucción de la biodiversidad y los bosques tropicales y templados puede perturbar el clima global y poner en riesgo una fuente importante de captura de carbono. Cada vez es más evidente la transformación que sufre el territorio. Los cambios del uso del suelo ya sean legales o ilegales son cada día más frecuentes, el avance de la frontera agrícola hacia superficies forestales ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos y, por ende, con baja productividad.

❖ **Áreas con cobertura forestal**

Es el área que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de copas superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. Incluye las plantaciones utilizadas fundamentalmente para fines industriales, energéticos o de protección. Excluye las formaciones de árboles utilizadas en sistemas de producción agrícola, por ejemplo, plantaciones frutales y sistemas agroforestales.

❖ **Áreas sin cobertura forestal**

Son áreas despojadas de vegetación que generalmente se han dado por actividades antropogénicas las cuales han contribuido a la degradación de los bosques, actividades como incendios forestales, avance de la frontera agrícola, tala inmoderada de árboles, proyectos energéticos y mineros y la contaminación ambiental son las causas por la que los bosques se van degradando las cuales deja como producto un suelo infértil, despojado y sin productividad alguna.

❖ **Actividades de la población de Momostenango que afectan a la degradación de los bosques**

Son todas aquellas actividades antropogénicas que amenazan la integridad de los bosques como los incendios forestales, aprovechamiento irracional de los bosques, avances de la frontera agrícola.

De acuerdo a las definiciones de las variables dependientes e independientes se procede a la operacionalización de las variables en las que se determina el proceso que se ejecutó en la metodología para la obtención de los resultados de la investigación.

2.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 4. Operacionalización de variables de la investigación “Estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020 para el municipio de Momostenango, Totonicapán”.

Hipótesis nula	La cobertura forestal no ha sido afectada por el cambio de uso de suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.					
Hipótesis alternativa	La cobertura forestal ha sido afectada por el cambio de uso del suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.					
Objetivo general	Analizar la dinámica de la cobertura forestal en el periodo de los años 2013 al 2020 para el municipio de Momostenango, Totonicapán.					
Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Sub indicadores	Unidad de medición	Categorización	Instrumentos y técnicas
Cuantificar la cobertura forestal total para el año 2020 del municipio de Momostenango	-Dinámica de la cobertura forestal	Tasas de cambio de la cobertura forestal	-Hectáreas por categoría en estudio por año - Años de estudio	Hectáreas	Cuantitativa	Utilización de los Softwares: -ILWIS -ArcGIS
		Cambio neto anual de cobertura forestal	-Área con cobertura forestal (ha) -Tasa de deforestación anual	Hectáreas	Cuantitativa	-Imágenes satelitales por año

Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Sub indicadores	Unidad de medición	Categorización	Instrumentos y técnicas
Evaluar la tasa de cambio de cobertura de bosques para el municipio de Momostenango comprendido entre el periodo de los años 2013 al 2020	Actividades de la población de Momostenango que afectan a la degradación de sus bosques	Crecimiento demográfico	-Incremento de cobertura de las categorías en estudio -Disminución de cobertura de las categorías en estudio	Hectáreas	Cuantitativa	-Puntos de control -Boleta de campo -Observación por inmersión
Identificar las actividades antropogénicas que afectan la dinámica de cobertura forestal para el año 2020		Deforestación	-Avance de la frontera agrícola -Ocoteo y extracción de resina.	Hectáreas	Cualitativa	-Entrevista

Fuente. Elaboración propia, Operacionalización de las variables de investigación, año 2020.

2.5. Alcances

2.5.1. Geográfico

La investigación beneficia directamente a la población del municipio de Momostenango puesto a que es el área de enfoque de estudio de la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio, el estudio generó datos de los años 2010 al 2020 respectivamente, por lo que se espera pueda replicarse en otras áreas de interés forestal y de esa manera se sepa cuánto de bosque se tiene aún, que permita a nivel nacional conservarse y sobre todo se promueva la recuperación, protección de los bosques con especies nativas, recuperación de afluentes, conservar los suelos fértiles, para poder planificar, gestionar, ejecutar investigaciones orientados al manejo sostenible del recurso forestal e hídrico.

2.5.2. Social

Se determinó datos técnica sobre la dinámica de la cobertura forestal, como herramienta de análisis de las tasas de cambio a través de la información proveniente del manejo adecuado de los SIG que se dejó para que lo opere la Unidad de Gestión Ambiental de Momostenango, además, el estudio permitió la manipulación y administración de los datos, que se actualizaron y sobre todo admite a las personas saber con cuanta información forestal actualizada posee el municipio y por ende, será de gran beneficio a los cuatro barrios y autoridades comunitarias para las mejoras de la capacidad de manejo sostenible y gestión sobre sus recursos naturales.

2.5.3. Temporal

Esta investigación tiene una temporalidad indefinida, porque el tema a investigar, es fundamental en la dinámica de la cobertura forestal, debido a la importancia que conlleva el análisis de las tasas de cambio, en este caso de la masa arbórea; porque permite saber si ha aumentado o disminuido la cubierta de bosques en Momostenango.

2.6. Límites

2.6.1. Financieros

La investigación será financiada por el tesista en las diferentes etapas de ejecución.

2.6.2. Geográfico

La investigación se realizó con enfoque municipal las cuales se hizo énfasis en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

2.6.3. Social

La investigación sobre la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio no ha tenido relevancia en la zona, debido a la falta de conocimiento sobre la importancia que tiene este tipo de estudio. Forestal, agroforestal, uso del suelo y sobre los servicios ambientales que proveen los bosques.

2.7. Aportes

2.7.1. Técnico

A través de la investigación se obtuvo información técnica sobre la dinámica y las tasas de cambio de cobertura forestal en el periodo a partir del año 2013 al 2020 del municipio de Momostenango, se facilitará a la UGAM y autoridades comunitarias información sobre la realidad actual de los bosques sobre las pérdidas, ganancias o cambios de usos de suelo que ha habido en los últimos años en la villa y los estudios científicos verdes que pueden adoptar para promover la sostenibilidad de los recursos naturales.

2.7.2. Social

Por medio del estudio se identificó las actividades humanas que han contribuido a la degradación de los recursos naturales que es uno de los pilares principales por la que se desarrolla la investigación para que a través de ello la municipalidad y

dependencias que la competen, enfatizan el extensionismo sobre temas de manejo forestal y sostenibilidad del mismo y así poder reducir la tasa de pérdida de cobertura boscosa en el municipio.

2.7.3. Profesional

La importancia del estudio se centraliza en conocer la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio mediante la planificación de métodos, técnicas, enfoque y tipo de investigación con los procedimientos adecuados al método científico para alcanzar los objetivos planteados.

Capítulo III

3.1. Metodología

La investigación se ejecutó en el municipio de Momostenango las cuales se ubica al norte del departamento de Totonicapán, este a su vez pertenece a la Región VI. Situado en el altiplano sur occidental de Guatemala, a una altura de 2,204 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un área de 305 km², con latitud norte de 15° 02" 40" y una longitud oeste de 91° 24" 30". Dista a 36 kilómetros de la cabecera departamental y a 208 kilómetros de la ciudad capital, por carretera asfaltada según el plan de desarrollo municipal.

3.1.1. Enfoque de la investigación

Investigación mixta: la investigación mixta implica combinar los enfoques cualitativo y cuantitativo en un mismo estudio. El enfoque mixto puede ser comprendido como un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio.

La investigación se desarrolló con base en datos numéricos que fueron generados del procesamiento de imágenes satelitales, y por medio de la observación por inmersión se realizó el proceso de validación de los mapas temáticos creados por categoría y cobertura forestal, de igual manera a través de las entrevistas se identificaron factores que han afectado la cubierta arbórea del territorio municipal, por lo que es de carácter mixto debido al análisis sobre la dinámica de los bosques del municipio de Momostenango en el periodo 2013 al 2020, y la identificación de actividades antropogénicas que influido en la degradación del mismo.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo histórica descriptiva, porque permitió a través de la observación, recolección de datos, procesamiento y análisis de imágenes satelitales, la determinación de las características y los cambios que han tenido los bosques del municipio de Momostenango entre los años 2013 al 2020, mediante la cuantificación de

áreas con cobertura y el avance de otras coberturas de acuerdo con las categorías de clasificación.

3.1.3. Método

3.1.3.1. Método inductivo

Es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro, la clasificación y el estudio de estos hechos, la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización y la contrastación.

3.1.3.2. Método deductivo

Es el procedimiento planteado que se sigue en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos del universo, para desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos adquiridos.

Ambos métodos fueron utilizados en la investigación.

En el caso del método deductivo se abordó para detallar los aspectos temáticos respecto a los diferentes mapas elaborados por años investigados.

El inductivo debido a que los datos se obtuvieron mediante el análisis sobre la dinámica de la cobertura forestal en un periodo de tiempo por medio del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, obteniendo de esta manera cuadros comparativos para visualizar los cambios de cobertura por cada categoría analizada.

3.1.4. Técnicas e instrumentos

Las técnicas de investigación son el conjunto de herramientas, procedimientos e instrumentos utilizados para obtener información y conocimiento.

Para la ejecución de la investigación sobre el análisis de la dinámica de la cobertura forestal para el municipio de Momostenango se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos.

➤ **Consulta bibliográfica (uso de los SIG)**

A través de la investigación bibliográfica se obtuvieron datos importantes sobre el estado de los bosques del municipio y las principales causas que han afectado la degradación de los recursos naturales. Se descargaron las imágenes satelitales del LANDSAT 8 a través del software USGS de los años en cuestión, para el análisis y procesamiento por medio del software ILWIS y ArcGIS obteniendo de esta manera los resultados de acuerdo a los objetivos planteados.

➤ **Observación por inmersión**

Fundamental en todo principio científico, la observación por inmersión consiste en confrontar el fenómeno que se desea comprender y describirlo, toma nota de sus peculiaridades, de su entorno, entre otros elementos de interés, suele ser el primer paso básico de toda investigación.

A través de las visitas de campo de acuerdo a los puntos de control con la observación por inmersión se aplicó las validaciones de las imágenes satelitales de los años 2013 al 2020 tomando en cuenta las cinco categorías de cobertura analizadas en los mapas temáticos, los cuales son las mismas que se tomaron en cuenta en la boleta, que fueron los apuntes de este instrumento.

➤ **Entrevista**

Una entrevista es un diálogo entablado entre dos o más personas: el entrevistador formula preguntas y el entrevistado las responde. Se trata de una técnica empleada para diversos motivos, investigación, medicina y selección de personal. Una entrevista no es casual, sino que es un diálogo interesado con un acuerdo previo e intereses y expectativas por parte tanto del entrevistador como del entrevistado.

Se realizaron entrevistas a pobladores de los diferentes lugares, como entes administradores de las comunidades; se desarrolló el análisis tomando por un lado, la cobertura forestal que son áreas importantes para el municipio de Momostenango, tanto en la parte baja, media y alta de la villa de acuerdo a los puntos de control generados, además se tomaron las superficies comunitarias sin cobertura forestal que han tenido un historial importante respecto a la degradación del mismo por actividades antropogénicas.

Las entrevistas enfatizaron preguntas basadas en el comportamiento de las personas hacia los bosques y su influencia tanto positiva como negativa en la cubierta arbórea.

3.1.5. Muestreo

3.1.5.1. Muestreo no probabilístico intencional

A la muestra no probabilística o dirigida se le denomina al subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación. En este tipo de muestreo no utiliza la ley del azar ni el cálculo de probabilidades y por tanto la pauta que se obtienen es sesgada y no se pueden saber cuál es el nivel de confiabilidad, de los resultados de la exploración. Asimismo, según el muestreo no probabilístico "Son aquellos que no responden a la aleatoriedad, con el objetivo de la intencionalidad del investigador".

De acuerdo con las definiciones y criterios se decidió trabajar con la muestra no probabilística, porque los elementos dependen de las características e intenciones del investigador debido a la situación que se está dando en la dinámica de la cobertura forestal del municipio. Fue necesario, trabajar los siguientes aspectos; se analizaron e interpretaron imágenes satelitales para la obtención de mapas de cobertura forestal y mapas por categoría por cada año en cuestión, razón por la cual el estudio describió, definió y analizó una población y área boscosa en específico, para lograr el objetivo y metodología del proceso.

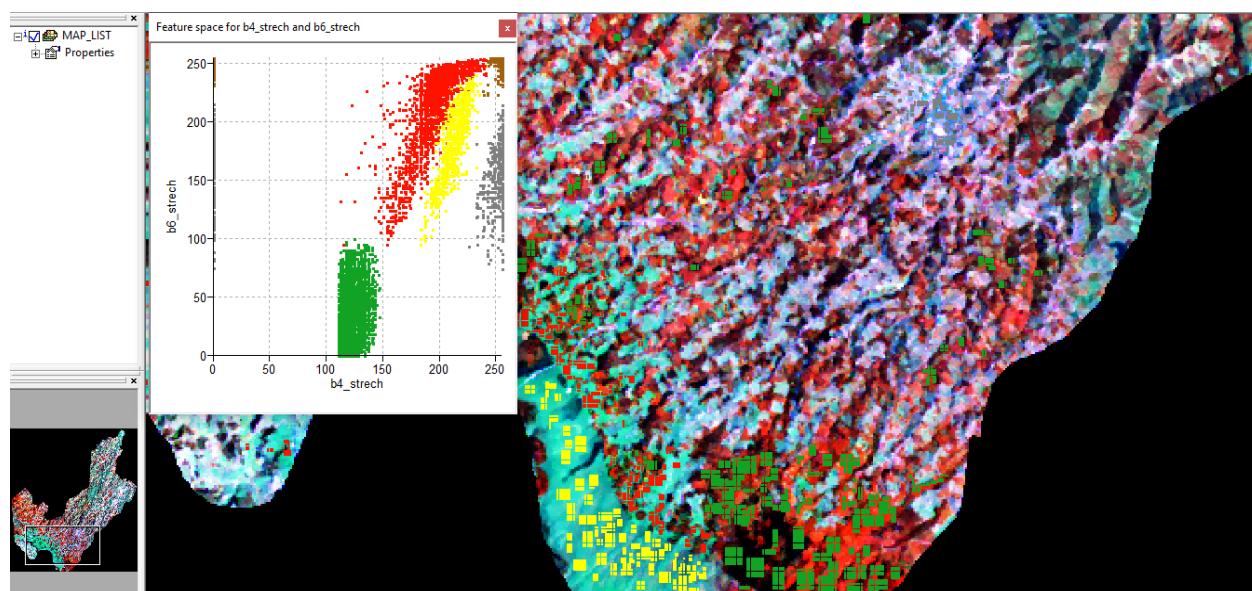


Figura 8. Ejemplo del procesamiento de toma de muestras por cobertura de acuerdo a las categorías de clasificación.

Fuente. Elaboración propia desde el software ILWIS, septiembre del año 2020.

En la figura 14 se muestra un ejemplo del procesamiento de muestreo por cobertura como parte del trabajo de la clasificación supervisada desde el software ILWIS, este proceso permitió influir en toda la población por medio de las muestras tomadas por cobertura por conveniencia.

3.1.5.2. Tipo de muestreo

Se utilizó el muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia, para el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, de acuerdo a los criterios de cobertura que fueron cinco las categorías que se analizaron y de cada una de ellas se obtuvieron muestras para el procesamiento de resultados finales. El diseño de respuesta para el análisis de la dinámica de cobertura forestal fue la elaboración de mapas temáticos en las que se consideraron dos tipos de cobertura, siendo ellas:

Tabla 5. Cuadro de clasificación de cobertura

Clasificación final para el análisis de cobertura forestal	
Clase 1	Áreas con bosque
Clase 2	Áreas sin bosque

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2020

Seguidamente, la clasificación permitió determinar las áreas sin cobertura forestal, la cual es la suma de cuatro categorías (cultivo, arbusto pastizal, infraestructura y centros de población y suelos sin cobertura), por otro lado, se obtuvo las áreas con masa arbórea, que no es más que la suma de bosques determinados en la clasificación supervisada por año.

Para la aplicación de las entrevistas se utilizó el muestreo no probabilístico intencional, esto se define como una técnica de muestreo no aleatorio utilizada para crear muestras de acuerdo a la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular.

Se utilizó el muestreo no probabilístico intencional debido a que las entrevistas se desarrollaron con base a los puntos de validación generados desde el software ArcGIS, utilizados tanto para el trabajo el procesamiento de imágenes satelitales a partir del año 2013 al año 2020, como también para la indicación de lugares poblados para la realización de las mismas, por lo que no fue para toda la población, es decir, que se tomaron zonas específicas en el municipio para realizarlas, estas se ejecutaron con base en los puntos de control.

3.1.5.3. Criterios de aplicación

El proceso de muestreo de imágenes satelitales se realizó a través de la clasificación supervisada utilizando las bandas correspondientes para poder determinar el área total por año de las distintas categorías de cobertura.

Para la realización de las entrevistas no hubo un área específica del municipio, debido a ello, se utilizó el método de muestreo no probabilístico intencional, estos fueron aplicados en áreas pobladas donde determinados puntos de control indicaban áreas urbanizadas, con el apoyo del personal de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal UGAM Momostenango, se pudo tener acercamiento a pobladores de distintas comunidades.

El proceso de la observación por inmersión fue aplicado de la forma que se describe a continuación:

- Para el trabajo de validación del mapa 2020, fue a través de las evaluaciones de campo basándonos en los puntos de control (coordenadas de la tabla 7, Pág. 115).
- Para el proceso de validación de los mapas de los años 2013 al 2019 fue por medio de las comparaciones de imágenes satelitales utilizando el software Google Earth y Landviewer respectos a la fotointerpretación que se utilizaron para el análisis (LANDSAT 8).

3.1.6. Etapas de Ejecución de Proyecto

a) Se desarrolló un análisis de SIG (Sistemas de Información Geográfica), de datos generados por sensores remotos, que permitió realizar el cruce de información por medio de la combinación de bandas ráster y la aplicación de filtros para la identificación de coberturas de usos de la tierra determinados entre los años 2013 al 2020 a través de las imágenes satelitales LANDSAT 8 que fueron descargadas.

b) Se procedió a realizar las validaciones de las imágenes satelitales para los años a partir del 2013 al 2019, para ello se trabajó la georreferenciación y comparación de imágenes satelitales utilizando el software Google Earth y Landview respecto a las imágenes satelitales que se utilizarán para el análisis (LANDSAT 8).

De igual manera, los instrumentos de entrevistas y la observación por inmersión que fue dirigido a los pobladores de las áreas rurales, básicamente enfatizaron el historial e identificación de principales factores que han afectado a los bosques del municipio, esto permitió respaldar el análisis y procesamiento de imágenes satelitales ejecutado de acuerdo a los puntos que fueron evaluados para el proceso de saber cómo se ha comportado la cobertura forestal desde los años 2013 al 2020.

A través de lo anterior se obtuvo los mapas del municipio de cobertura forestal y su análisis respecto a la dinámica de cubierta boscosa entre el periodo del año 2013 al 2020 tomando como base el procesamiento adecuado de las imágenes satelitales LANDSAT 8.

3.1.6.1. Fase de gabinete

❖ Descarga de Imágenes Satelitales del municipio

En este proceso se trabajó la descarga de una serie de imágenes satelitales en alta resolución con un nivel de zoom de 30 megapíxeles y una calidad de 100%, las descargas de las imágenes se realizaron por medio del software del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), utilizando el número de ruta del satélite LANDSAT 8 que por sus siglas en inglés se le denomina Path y Row, estos son dos parámetros numéricos que permiten identificar una imagen satelital LANDSAT de forma análoga a los valores de longitud y latitud, las cuales son: Path Row-20-50.

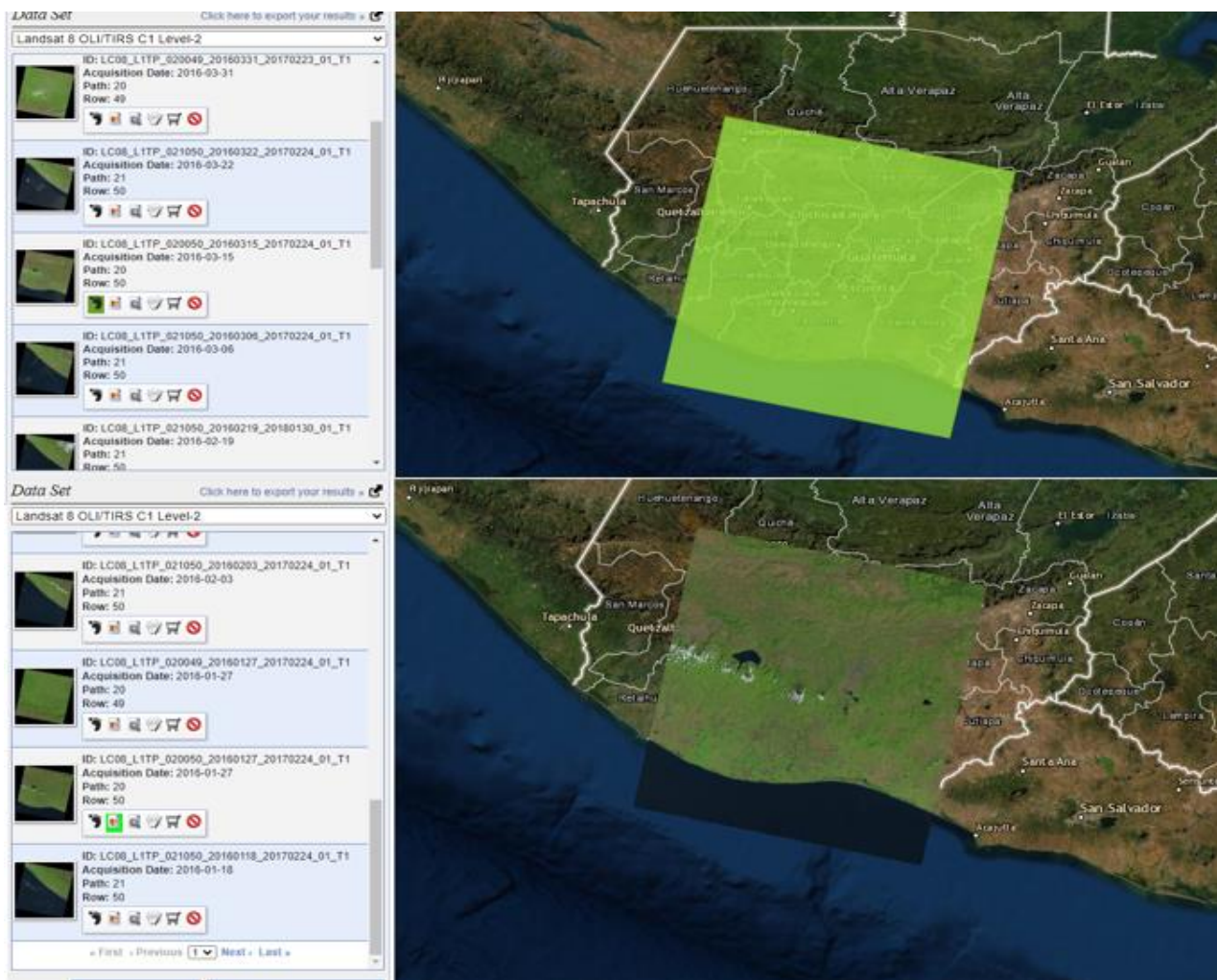


Figura 9. Proceso de selección y descarga de imágenes satelitales LANDSAT 8 desde el software del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

En la figura 8 se visualiza parte del trabajo realizado para la descarga de las imágenes satelitales LANDSAT 8 para cada año de estudio, desde el software del servicio geológico de los Estados Unidos aplicando los siguientes criterios de selección.

- Número de ruta del satélite (Path y Row) es de 20-50, para todos los años de enfoque.
- Las fechas de las imágenes descargadas fueron en época seca (entre los meses de enero-abril), estas imágenes fueron especialmente para el análisis de cobertura de acuerdo a las categorías y cartografía temática.
- Ausencia de nubes y otros efectos atmosféricos como humo, bruma o aerosoles.

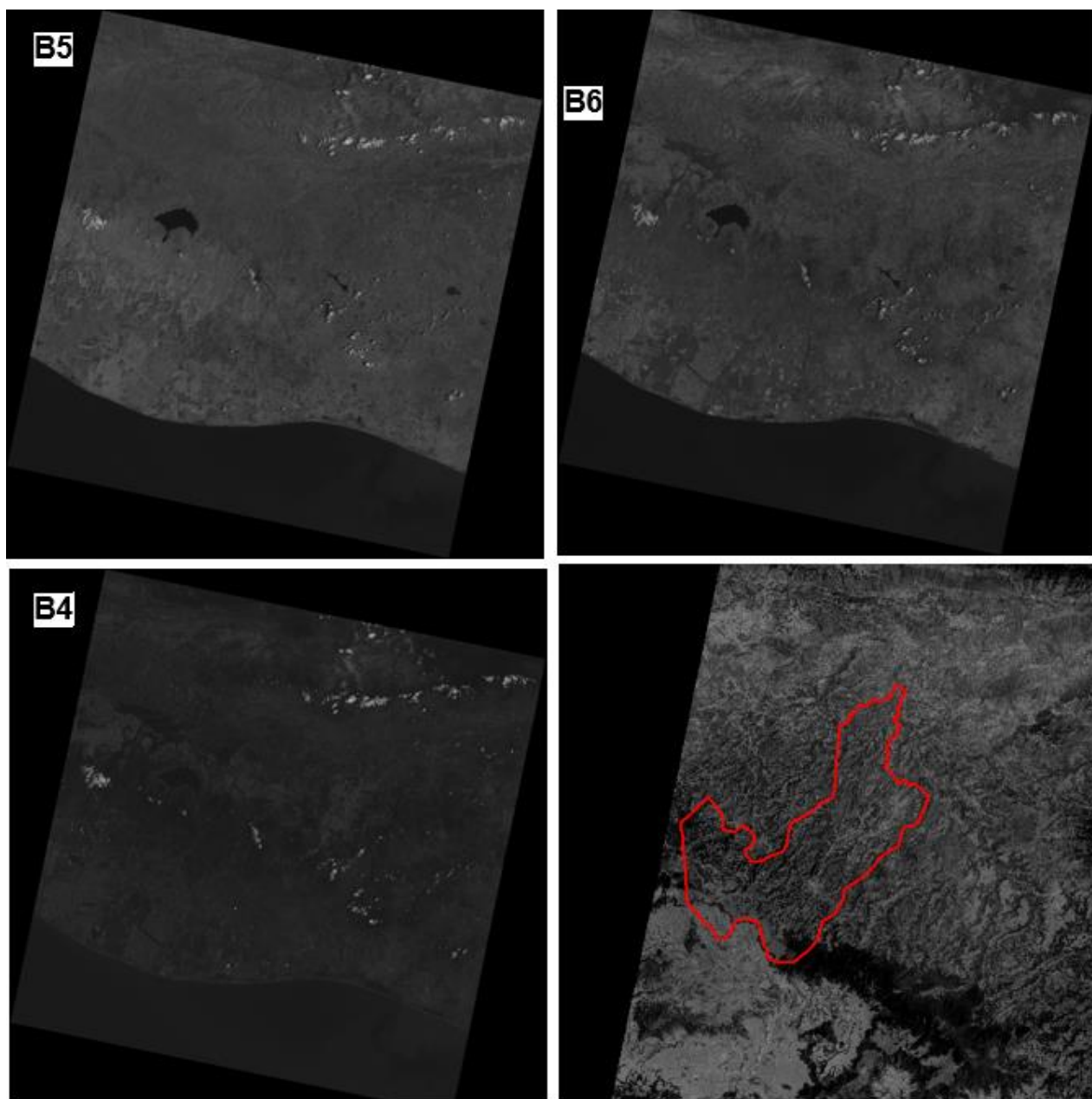


Figura 10. Ejemplares de imágenes satelitales de LANDSAT 8, bandas 5, 6 y 4 descargadas Correspondientes al año 2020.

Fuente. Servicio Geológico de los Estados Unidos, (USGS, 2020).

En la figura 9 se muestran los ejemplares de imágenes satelitales correspondientes al año 2020 descargados de acuerdo a los criterios de selección con número de ruta 20-50, de fecha 26 de marzo del año 2020, sin ningún defecto atmosférico sobre el área de interés como se evidencia en la esquina inferior derecha, estos de acuerdo a las bandas utilizadas 5, 6 y 4 para la diferenciación cromática e identificación de coberturas del suelo las cuales fueron utilizados para los procedimientos de análisis e interpretación de cobertura forestal para el año 2020.

De la misma manera fueron descargadas las imágenes satelitales de los demás años de enfoque del estudio de acuerdo a los criterios de selección y respectivamente su procesamiento e interpretación en los softwares de ILWIS y ArcGIS.

❖ **Procesamiento de imágenes, (Clasificación supervisada de imágenes).**

En esta actividad cada imagen descargada fue proyectada al sistema de coordenadas GTM con la finalidad de que los shapes de distinta índole se acoplen a las imágenes satelitales de acuerdo a la combinación de bandas, para esta fase de trabajo y todas las etapas de la metodología que implican el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales se utilizó como base el shape municipal de Momostenango para la delimitación del área de estudio Generado por el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala (IGN) y descargado desde la página del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT/SEGEPLAN), ésta a su vez proyecta un área total para el municipio de Momostenango de 35,915.83 ha sobre la cual se ejecutó el estudio.

➤ **Combinación de bandas Espectrales**

Para poder visualizar las imágenes satelitales en color real o falso color fue necesario realizar una combinación de tres bandas espectrales para analizar elementos específicos de la superficie terrestre en función del espectro de emisión, la creación de estas imágenes parte del paso de bandas a través de tres canales: rojo, verde y azul, el paso de cada banda por un canal u otro permite teñir de colores las coberturas que ofrezcan mayor o menor reflexión de longitudes de onda.

De acuerdo a los objetivos de la investigación, donde se busca contabilizar la dinámica de cobertura forestal entre un lapso de ocho años y determinar el uso del suelo respecto a los estándares de clasificación y por la caracterización técnica de las imágenes LANDSAT se utilizaron las bandas 5, 6 y 4, estas son utilizados en las imágenes LANDSAT 8 para poder diferenciar cromáticamente los diferentes usos del suelo ante una imagen territorial compleja y con ello poder analizar las imágenes satelitales de acuerdo a los criterios de clasificación cobertura.

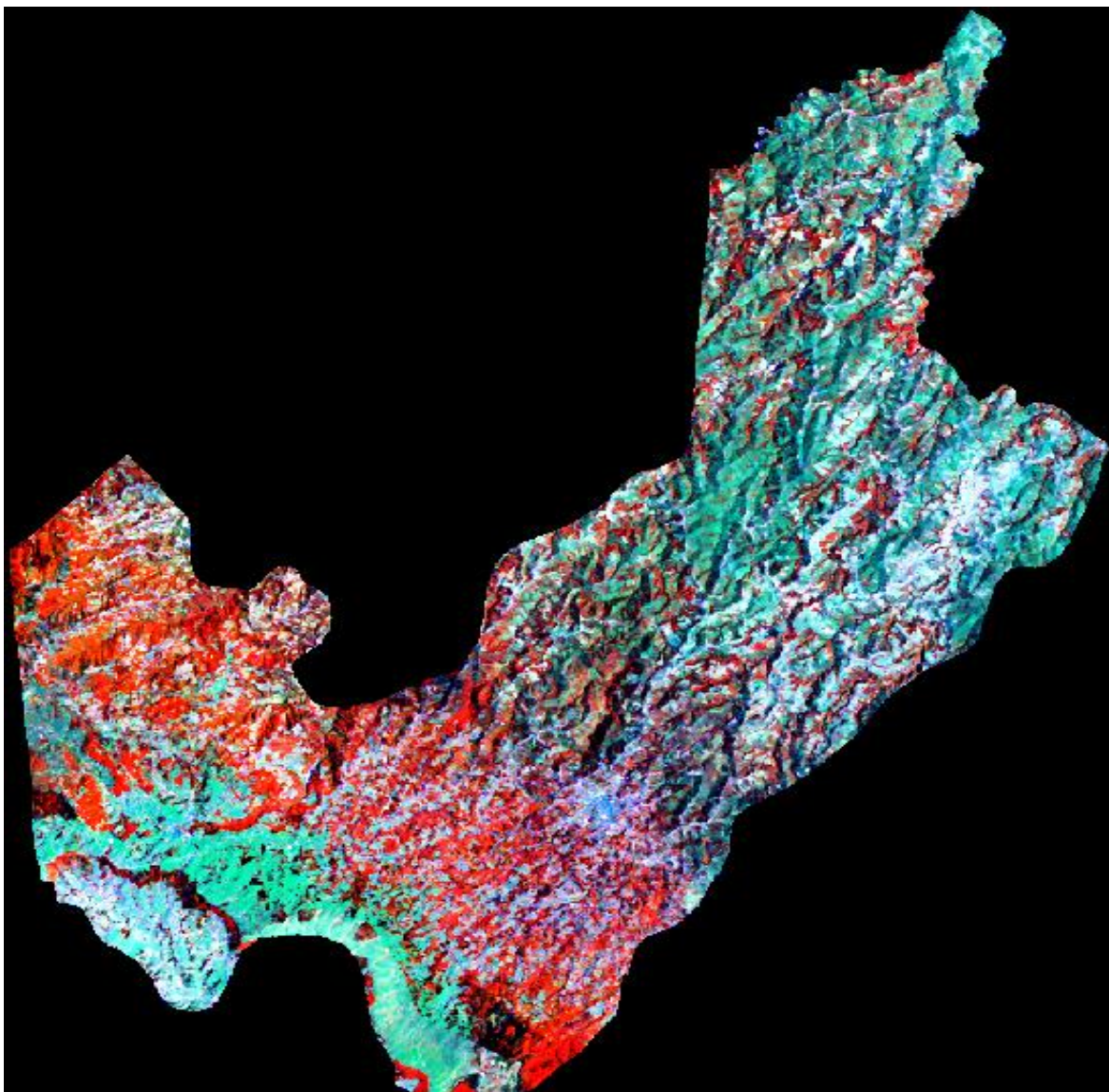


Figura 11. Combinación de bandas espectrales 5, 6 y 4 como parte del procesamiento de las imágenes satelitales para el año 2020 para la identificación de coberturas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.






Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

En la figura 9 se presenta un ejemplar del trabajo de combinación de bandas espectrales realizado desde el software ILWIS, para la identificación de coberturas del municipio de Momostenango, este proceso fue ejecutado de igual manera para los demás años en cuestión, la ejecución de esta fase de estudio permitió determinar las diferentes categorías de cobertura que fueron utilizados en los procesos de la clasificación supervisada en cada año de análisis.

➤ **Clasificación de imágenes**

En esta etapa se aplica el método de clasificación supervisada, con lo que se representaron las distintas coberturas del municipio, enfatizando el enfoque de la investigación (la cobertura forestal del municipio de Momostenango), esto fue trabajado desde el software ILWIS, ejecutando el proceso para cada año de análisis.

Tabla 6. Criterios de clasificación de cobertura para el municipio de Momostenango.

Criterios de clasificación de cobertura		
Categoría	Código	Colores asignados a cada valor
Bosque	B	
Arbustos matorrales	A	
Cultivo	C	
Infraestructura y centros de población	IP	
Suelos sin cobertura	SC	

Fuente. Elaboración propia, agosto del año 2020.

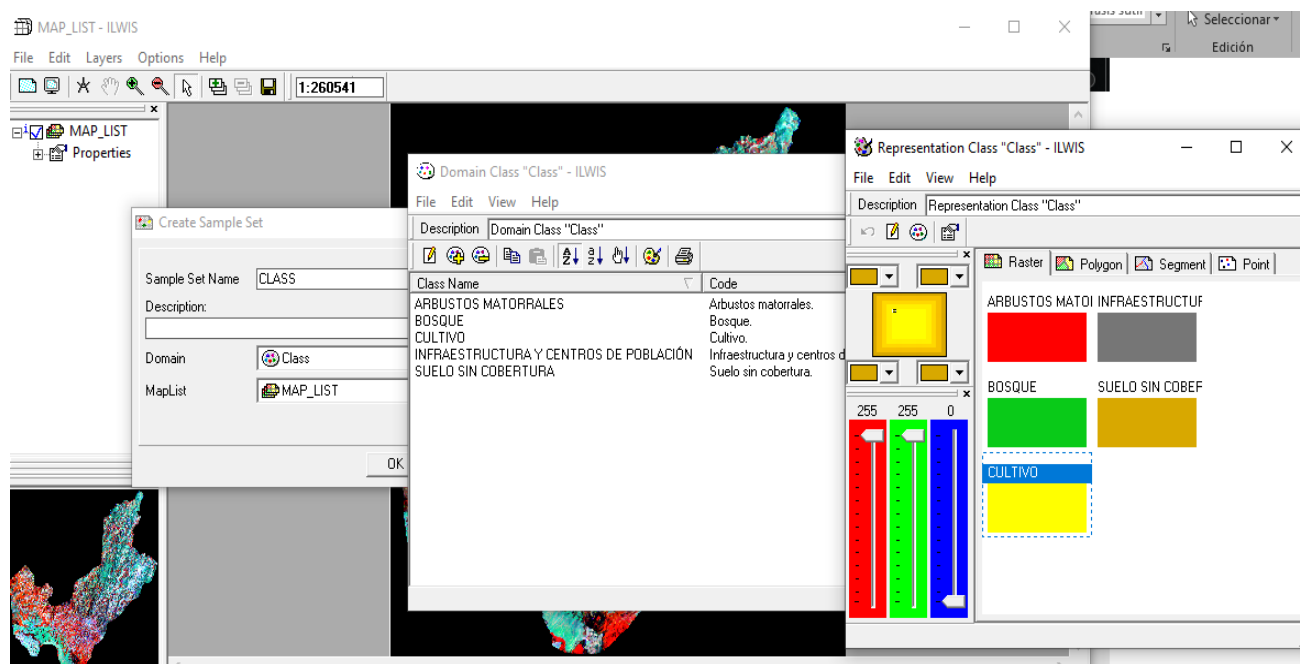


Figura 12. Asignación de colores y códigos a cada valor (cobertura), para el proceso de clasificación supervisada y toma de muestras.

Fuente. Elaboración propia desde el software ILWIS, septiembre del año 2020.

➤ Nubes y sombras

Una de las mayores dificultades encontradas en la clasificación de las imágenes es la nubosidad porque causa pérdida de información en áreas de interés, sin embargo, para ello se descargaron imágenes satelitales con valores de latitud y longitud 20-50 (Path-Row) y se tomó en cuenta las fechas de las imágenes de los diferentes años en cuestión. Estas tuvieron que ser entre los meses de enero a abril de cada año debido a que en estos meses la cantidad de nubosidad y otros efectos atmosféricos sobre el área de estudio es menor lo cual mejoró la precisión en el procesamiento e interpretación de las imágenes satelitales, a continuación, se detalla las fechas exactas de las imágenes descargadas a partir del año 2013 al año 2020.

Tabla 7. Fechas exactas de imágenes satelitales LANDSAT 8 descargadas y utilizadas para cada año de estudio.

Fechas de las imágenes satelitales LANDSAT 8 utilizadas en cada año		
Año de estudio	Fecha de imágenes LANDSAT 8 utilizadas	Valores de longitud y latitud para todos los años de estudio
2013	4/12/2013	Path - Row = 20 - 50 Esto se debe a que Landsat captura de manera constante las mismas superficies a través de una malla de cuadrículas, cada de ellas presenta el mismo Path Y Row, (ruta del satélite).
2014	11/04/2014	
2015	25/02/2015	
2016	27/01/2016	
2017	14/02/2017	
2018	5/03/2018	
2019	24/03/2019	
2020	26/03/2020	

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2020.

➤ Filtrado de la clasificación

Para obtener un margen aceptable de confiabilidad, se procedió a aplicar una serie filtros sobre la imagen clasificada con lo que se corrigieron errores no resueltos en la clasificación, para esto se empleó el software ILWIS.

➤ Creación de puntos de control

Como parte de la validación del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales a través de la clasificación supervisada, se generó un shape de puntos compuesto de 100 coordenadas sobre el área de estudio, los puntos fueron generados al azar procurando obtener al menos 10 puntos sobre cada clase. Para esto se utilizó el software ArcGIS.

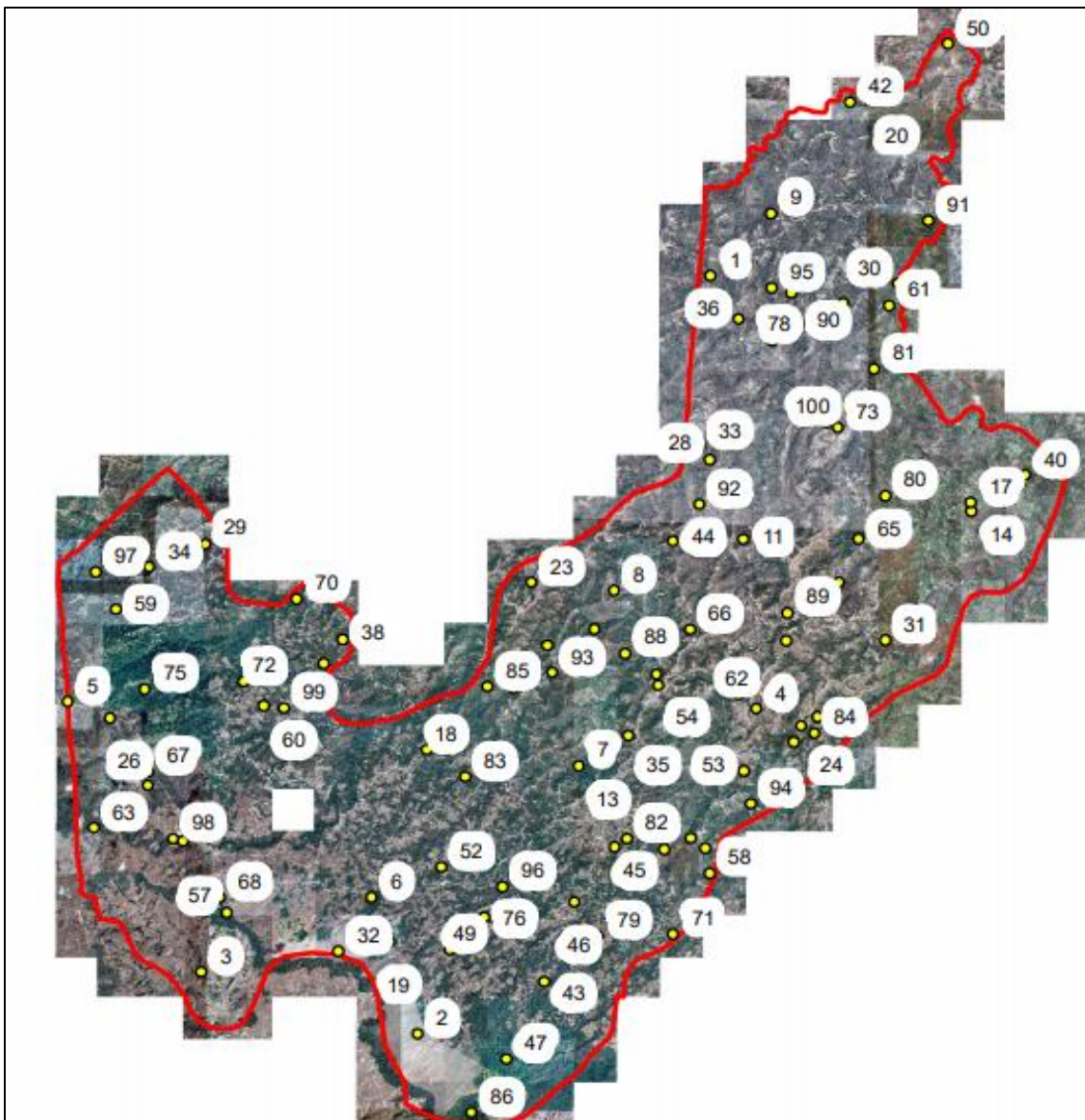


Figura 13. Shape de puntos de control utilizado para el proceso de validación de los resultados del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales realizados por año para el Municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia desde el software ArcGIS, agosto del año 2020.

Tabla 8. Coordenadas de los puntos de control utilizados para el proceso de validación de los resultados del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales realizados por cada año para el municipio de Momostenango.

No.	X	Y	No.	X	Y	No.	X	Y
1	405432	1679580	35	403134	1666382	69	407751	1666207
2	397269	1657819	36	406218	1678337	70	393898	1670302
3	391243	1659594	37	409138	1667002	71	404387	1660694
4	406711	1667144	38	395189	1669145	72	392413	1667920
5	387528	1667361	39	390730	1663339	73	408980	1675223
6	395997	1661745	40	414217	1673854	74	388423	1668144
7	401763	1665517	41	408424	1666923	75	389673	1667718
8	402750	1670545	42	409325	1684546	76	399128	1661156
9	407122	1681365	43	400795	1659322	77	409136	1678782
10	401604	1659008	44	404398	1671966	78	407161	1677720
11	406352	1672013	45	404152	1663113	79	402313	1660622
12	409026	1670773	46	401640	1661607	80	410301	1673256
13	402479	1665765	47	399738	1657092	81	409996	1676900
14	412704	1672818	48	400356	1662352	82	403101	1663419
15	407677	1679076	49	398167	1660246	83	398590	1665199
16	402777	1663197	50	412053	1686231	84	408333	1666454
17	412684	1673066	51	400894	1668965	85	399218	1667786
18	397532	1665963	52	397926	1662599	86	398778	1655559
19	396501	1660457	53	406357	1665376	87	402210	1669443
20	409778	1684797	54	403941	1668135	88	403050	1668744
21	403993	1667825	55	407550	1669104	89	407576	1669906
22	405289	1663155	56	404885	1663430	90	407889	1678188
23	400454	1670778	57	391953	1661309	91	411503	1681150
24	407964	1666653	58	405408	1662436	92	405127	1673006
25	389765	1664950	59	388853	1670010	93	401031	1668185
26	388695	1666885	60	392988	1667239	94	406554	1664416
27	394647	1668456	61	410413	1678728	95	407144	1679223
28	405419	1674304	62	406226	1667578	96	399638	1662047
29	391354	1671874	63	388248	1663735	97	388293	1671070
30	410660	1679346	64	399961	1667751	98	390461	1663422
31	410300	1669115	65	409572	1672031	99	393549	1667173
32	395055	1660193	66	404859	1669418	100	408662	1675372
33	405137	1674674	67	389769	1665342			
34	389794	1671211	68	391744	1661748			

Fuente. Elaboración propia, agosto del año 2020.

3.1.6.3. Fase de campo

- Verificación en campo de los puntos de áreas control

Utilizando la técnica de la observación por inversión y con el apoyo del GPS navegador, se procedió a verificar los puntos en campo, si estos tienen coincidencias con las zonas clasificadas trabajadas en gabinete dejando constancia de las áreas evaluadas por medio de fotografías, es importante aclarar que los criterios tomados fueron aplicados con base en las 5 categorías de cobertura analizadas como se presenta en la boleta de campo mencionada.

Como parte de la labor de campo también se procedió a desarrollar las entrevistas, estas no se aplicaron a una zona específica del municipio, debido a que se realizaron en áreas pobladas visitadas para la validación de las imágenes satelitales, es importante aclarar que las mismas se realizaron en puntos de control generados desde el software ArcGIS.

3.2.6.4. Fase final de gabinete

- **Validación para las imágenes satelitales de los años a partir del 2013 al año 2019**

Se realizaron comparaciones de imágenes satelitales desde los softwares de Google Earth y Land Viewer respecto a las imágenes satelitales que se utilizaron para el estudio (LANDSAT 8), verificando de esta manera la precisión de ambas imágenes con base en el shape de puntos de control y de acuerdo a la cobertura que fue analizado.

- **Validación final para las imágenes satelitales para el año 2020**

Debido a que las imágenes satelitales que fueron utilizados son para el análisis de cobertura del año 2020, se realizó las siguientes actividades:

Se evaluaron las coordenadas generadas en el shape de puntos de control en campo para determinar la confiabilidad de la información generada en gabinete.

De igual manera se trabajó el procedimiento de uso de imágenes de alta resolución espacial contenidas en la plataforma de Google Earth, ya que sustituye la

verificación de campo de áreas a la que no se pudo acceder, ya que dichas imágenes permiten obtener información muy similar a la que se obtendría en una verificación de campo, pero con la ventaja de que se puede cubrir un gran número de puntos de control con un esfuerzo y costo considerablemente.

➤ **Estimación de tasas de cambio**

Para calcular la tasa de cambio de cobertura forestal anual fue necesario tomar en cuenta las fechas exactas de las imágenes utilizadas, así como el área que la imagen cubre sobre el shape del municipio de Momostenango para obtener un promedio ponderado del periodo de estudio. Esto explica, por qué existen diferentes valores de periodo de tiempo para cada variable de estudio, según sea el cálculo que se desee realizar. (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

Se determinó la cantidad de bosque presente en los distintos años de interés y su dinámica, obteniendo datos de ganancia y pérdida de bosque en el área base en cuestión. Esta información permitió calcular el cambio neto de cobertura forestal para un área específica (municipio de Momostenango), que es un valor positivo si hubo un incremento de cobertura forestal o negativo si ocurrió una deforestación neta, (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012).

Cambio neto (ha)= ganancia de bosque (ha) - pérdida de bosque (ha)

Esta variación en la cobertura está estimada en un periodo de tiempo determinado por las fechas de las imágenes utilizadas. Este periodo varía ya que las imágenes no son todas de las mismas fechas. Fue necesario entonces calcular un periodo promedio de tiempo para el área de análisis en cuestión. Este promedio se calculó ponderando el número de meses existentes entre cada intervalo de fechas de las imágenes por año, se sumó el total de meses analizados durante los ocho años, el resultado se dividió dentro de 12 lo cual es el número de meses que tiene el año obteniendo así el año promedio ponderado. Con este intervalo de tiempo se pudo calcular el cambio neto anual, (INAB, CONAP, UVG, URL, 2012)

Cambio neto anual (ha/año) = cambio neto (ha) / intervalo ponderado (años)

El cambio neto anual permite calcular la tasa de deforestación anual con la siguiente fórmula:

Tasa de deforestación anual = 100 * Cambio neto anual / Bosque 2013

➤ **Elaboración del mapa temático**

Los mapas finales son presentados en formato Shape, KML, PDF y JPG en a escala 1:55,000, el cual contendrá las siguientes características:

- Escala.
- Leyenda.
- Flecha Norte.
- Título del mapa.
- Cuadrícula del mapa.
- Contenido del mapa

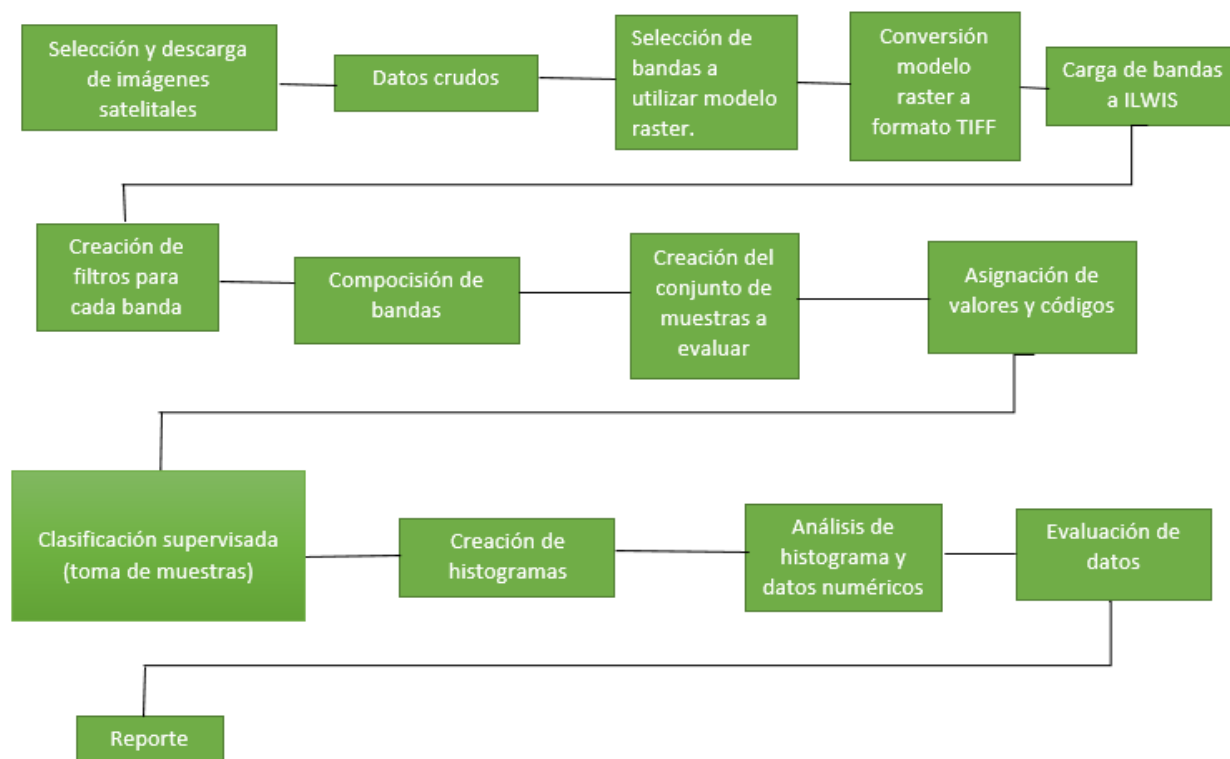


Figura 14. Diagrama de flujo para el procesamiento de imágenes satelitales.

Fuente. Elaboración propia, diagrama de flujo, marzo del año 2020.

El proceso que se presenta en el diagrama de flujo fue trabajado con las imágenes satelitales de cada año, posteriormente se realizó el análisis e interpretación de la información generada por año, con ello se obtuvo el resultado de la dinámica que ha tenido la cobertura forestal del municipio de Momostenango.

3.2. Recursos

3.2.1. Recurso humano

- Encargado de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal.
- Técnico I de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal.
- Autoridades comunitarias de determinadas aldeas de Momostenango.
- Tesista de Ingeniería Forestal.
- Asesor CUNTOTO.

3.2.2 Recurso físico

- Software.
- Ordenador.
- Escritorio de Oficina.
- GPS Navegador.
- Memoria USB.
- Cuaderno de apuntes.
- Lapiceros.
- Motocicleta.

3.2.3. Tabla 9. Recurso Económico.

Fases	Rubros	Materiales y herramientas	Cantidad	Costo unitario Q.	Días	Total Q.
	Talento humano	Estudiante	1	10,000.00		10,000.00
		Encargados institucionales	2	5,000.00		10,000.00
		Personal de apoyo	2	4,000.00		8,000.00
Planificación	Elaboración de plan de investigación	Computadoras	1	3,500.00		3,500.00
		Impresora	1	1,000.00		1,000.00
		Resma de papel bond	6	35.00		210.00
		Energía eléctrica	1	5.00	30	150.00
Ejecución/fase inicial de gabinete	Procesamiento de imágenes satelitales.	Software Arcgis	1	35.00		35.00
		Software ILWIS	1	35.00		35.00
		Internet	1	150.00	30	150.00
		Memoria USB	1	30.00		30.00
Ejecución/Fase de campo	Mano de obra (en fase de ejecución)		2	125.00	15	1,875.00
	Transporte	Vehículo (motocicleta)	2	8,000.00		16,000.00
		Combustible (Galones)	10	25.00		250.00
	Instrumentos y herramientas	GPS	1	3,500.00		3,500.00
		Cámara fotográfica	1	4,000.00		4,000.00
		Celular inteligente	1	3,000.00		3,000.00
		Tablero	1	40.00		40.00
	Alimentación		2	35.00	30	2,100.00
	Refrigerio		2	25.00	30	1,500.00
	Impresiones	Boletas de campo y entrevistas	50	0.50		25.00
Ejecución/Fase de gabinete final	Sistematización de resultados	Paquete de office (Word 2013)	1	35		35.00
		Internet	1	150.00	60	300.00
	Resultados de investigación	Copias de informes finales	10	50.00		500.00
	Informe final	Encuadernados	10	100.00		1,000
	Imprevistos	3% del gasto total				2,017.05
					Total Q.	69,252.05

Fuente. De elaboración propia, marzo del año 2020.

3.2.4. Tabla 10. Cronograma de actividades.

No.	Actividades	Año 2020											Año 2021					
		Mes											Mes					
		F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
		eb	ar	br	ayo	un	ulio	gosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
Fase de gabinete inicial								Fase de campo			Fase de gabinete final							
1	Aprobación del punto de investigación.	■																
2	Entrega del plan de investigación y revisión por parte del asesor		■															
3	Entrega del plan de investigación ante terna Evaluadora			■	■	■	■											
4	Aprobación del plan para su ejecución						■	■										
5	Ejecución de la Investigación.								■	■	■							
6	Análisis y sistematización de resultados												■					
7	Sistematización de resultados y correcciones												■	■				
8	Presentación y entrega de resultados en informe final														■	■	■	■

Fuente. Elaboración propia, marzo del año 2020.

Capítulo IV

4.1. Resultados

Se presentan los resultados a través de los cuadros estadísticos generados por año, los mapas temáticos de cobertura forestal del municipio y por categoría, representando de esta manera por medio de gráficas los cambios que se estimaron durante los ocho años analizados.

4.1.1. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2013

La cobertura forestal del municipio de Momostenango es la que más área abarca a las cinco categorías analizadas e interpretadas como se describe en la metodología, se presenta entonces el cuadro estadístico, el mapa de masa boscosa y por jerarquía, las gráficas de porcentaje y finalmente la cubierta de bosque para el año 2013.

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2013.

Tabla 11. Área de coberturas por categoría del municipio de Momostenango, Totonicapán del año 2013.

Cuadro estadístico del año 2013					
Categorías	Número de píxeles por categoría	Porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de pixel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	112,747	28.45	101,472,300	10,147.23	101.47
Bosque	143,300	36.16	128,970,000	12,897.00	128.97
Cultivo	68,028	17.16	61225200	6,122.52	61.23
Infraestructura y Centros de población	56,407	14.23	50,766,300	5,076.63	50.77
Suelo sin cobertura	15,861	4	14,274,900	1,427.49	14.27
Valores mínimos	15,861	4	14,274,900	1,427.49	14.27
Valores máximos	143,300	36.16	128,970,000	12,897	128.97
Media	79,269	20	71,341,740	7,134.17	71.34
Desviación estándar	49,725	12.55	44,752,610	4,475.26	44.75
Suma total	396,343	100	356,708,700	35,670.87	356.71

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2020.

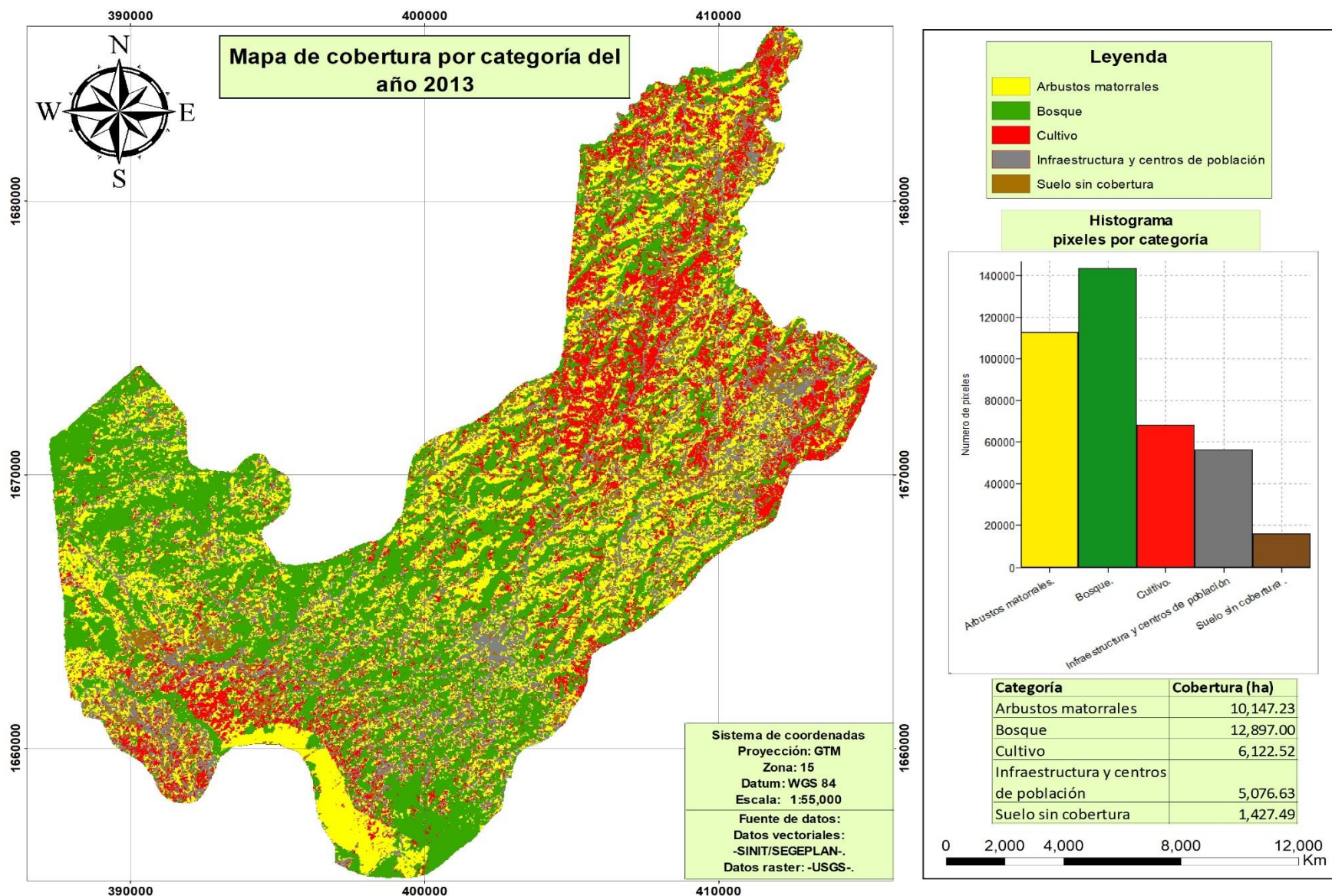


Figura 15. Mapa de cobertura por categorías del año 2013 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

El mapa representado en la figura 15 visualiza la ubicación y el área de cobertura por categoría, determinada en la clasificación supervisada del año 2013, como parte de la leyenda también se presenta el histograma generado desde el software ILWIS lo cual identifica la cantidad de píxeles determinadas para cada clase, básicamente es la representación temática del cuadro estadístico, (tabla 11).

De acuerdo a la tabla 11 en la que se describe el análisis estadístico por categoría, también se calculó la desviación estándar respecto a la media lo cual para el año 2013 la estimación fue de 4,475.26 ha, esto indica que la mayoría de clases respecto a su área se encuentran debajo de la media que fue de 7,134.17 ha, estas jerarquías son: cultivo, infraestructura-centros de población y suelos sin cobertura como se visualiza representa los datos más pequeños y las mayores coberturas son dos: bosques y arbustos pastizales que ocupan toda la masa arbórea para el municipio y se encuentran sobre la media.

Con base en el análisis estadístico, se presenta el porcentaje de cobertura por categoría para el año 2013 respecto al área total del municipio de acuerdo al shape utilizado para la delimitación de la zona total del estudio para el respectivo período.

4.1.1.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2013

Tabla 12. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2013.

Área total del municipio (ha)	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,670.87	244.96	Arbustos matorrales	28.25
			Bosque	35.91
			Cultivo	17.05
			Infraestructura y centros de población	14.13
			Suelo sin cobertura	3.97
			Área no definida	0.68
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

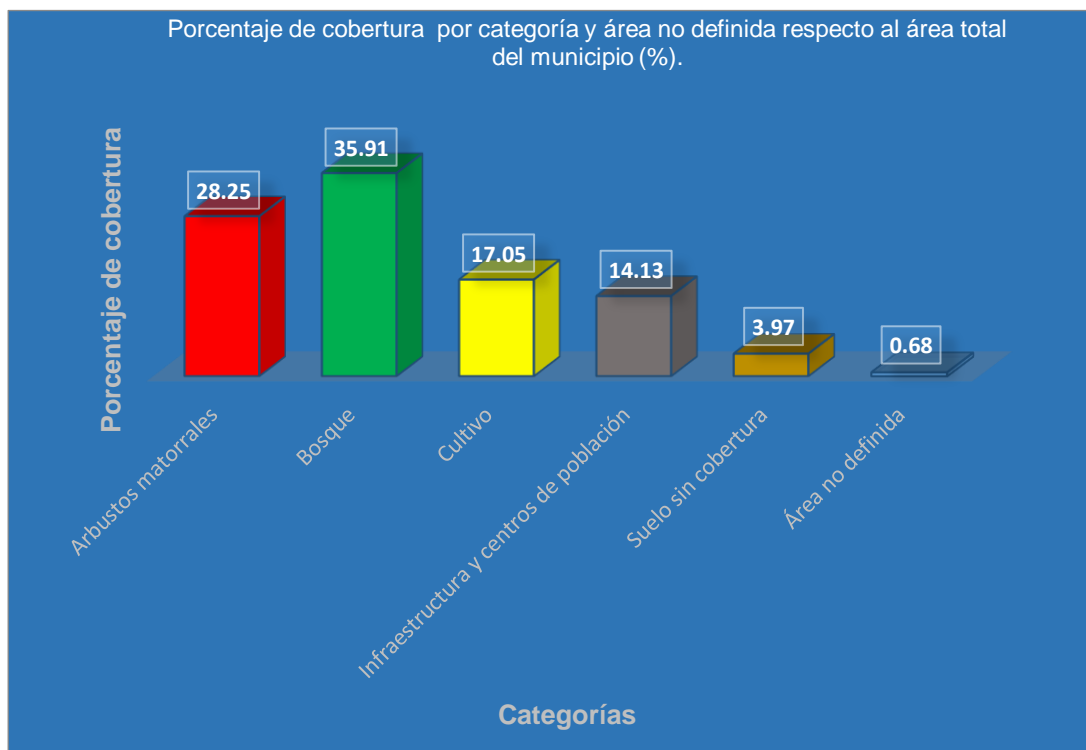


Figura 16. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

Para el año 2013 se identificaron 35, 670.87 hectáreas (ha), esta es la suma total de la cantidad de área estimada por categoría como se describe en la tabla 11, el shape base del IGN permitió la delimitación de interés. Se logró determinar la cantidad de 35,915,83 ha para el municipio de Momostenango, esos datos numéricos respecto a la cobertura identificada, se visualiza una diferencia de 244.96 ha no identificadas. Esto se debe a la discriminación de áreas pertenecientes a otro tipo de jerarquía que no fue determinada en la clasificación supervisada, en la figura 16 se visualiza la distribución de porcentaje de cobertura calculada para este año.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un potente instrumento para la recogida, almacenamiento, gestión, análisis y representación de datos geográficos referidos a un territorio concreto. Gracias a esta capacidad son sistemas utilizados en la obtención de cartografía temática, El uso del suelo tienen gran interés científico: por un lado, interesa conocer cómo eran en el pasado, cuál es su distribución actual, cuál es

su dinámica, su evolución y por otro lado identificar si esta distribución es funcional, si el sistema territorial objeto de estudio es estable, es el deseable o por el contrario no es sostenible.

Además, esta variable es utilizada como indicador ambiental, las actividades humanas ejercen presiones sobre la masa arbórea y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a esos cambios mediante políticas ambientales, sectoriales y económicas. Se trata de cobertura boscosa que puede reflejar el impulso del hombre sobre el entorno (indicador de presión), el atributo del medio y recursos naturales (indicador de estado) y medir cuál es el esfuerzo social y político en materia medioambiental (indicador de respuesta), (Rodríguez, Vázquez, & Sánchez, 2010).

La cobertura forestal para el municipio de Momostenango para el año 2013 se estimó en 12,897 hectáreas equivalentes a 128.97 km² lo cual representa el 35.91% de cubierta del territorio total del municipio, es el porcentaje más alto respecto a su cubierta, la segunda con mayor porcentaje es la de arbustos pastizales con 28.25%, en el párrafo anterior se resalta la importancia de la identificación del uso del suelo a través de los SIG y es un indicador ambiental por lo que en los siguientes años analizados se refleja un esfuerzo social y político en materia medioambiental deficiente puesto a que la tendencia de los bosques van hacia una disminución de la masa arbórea.

Como se evidencia en el mapa de cobertura forestal, en la parte alta del municipio es donde se encuentra la mayor cantidad de bosque y en el fragmento bajo es donde se visualiza alto porcentaje de suelos sin cobertura, áreas colindantes en la jurisdicción de Santa María Chiquimula y Huehuetenango, debido a que son superficies con suelos muy pobres en los que se encuentran sitios sin bosque, arbustos pastizales y cultivo.

Finalmente se presenta el mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2013.

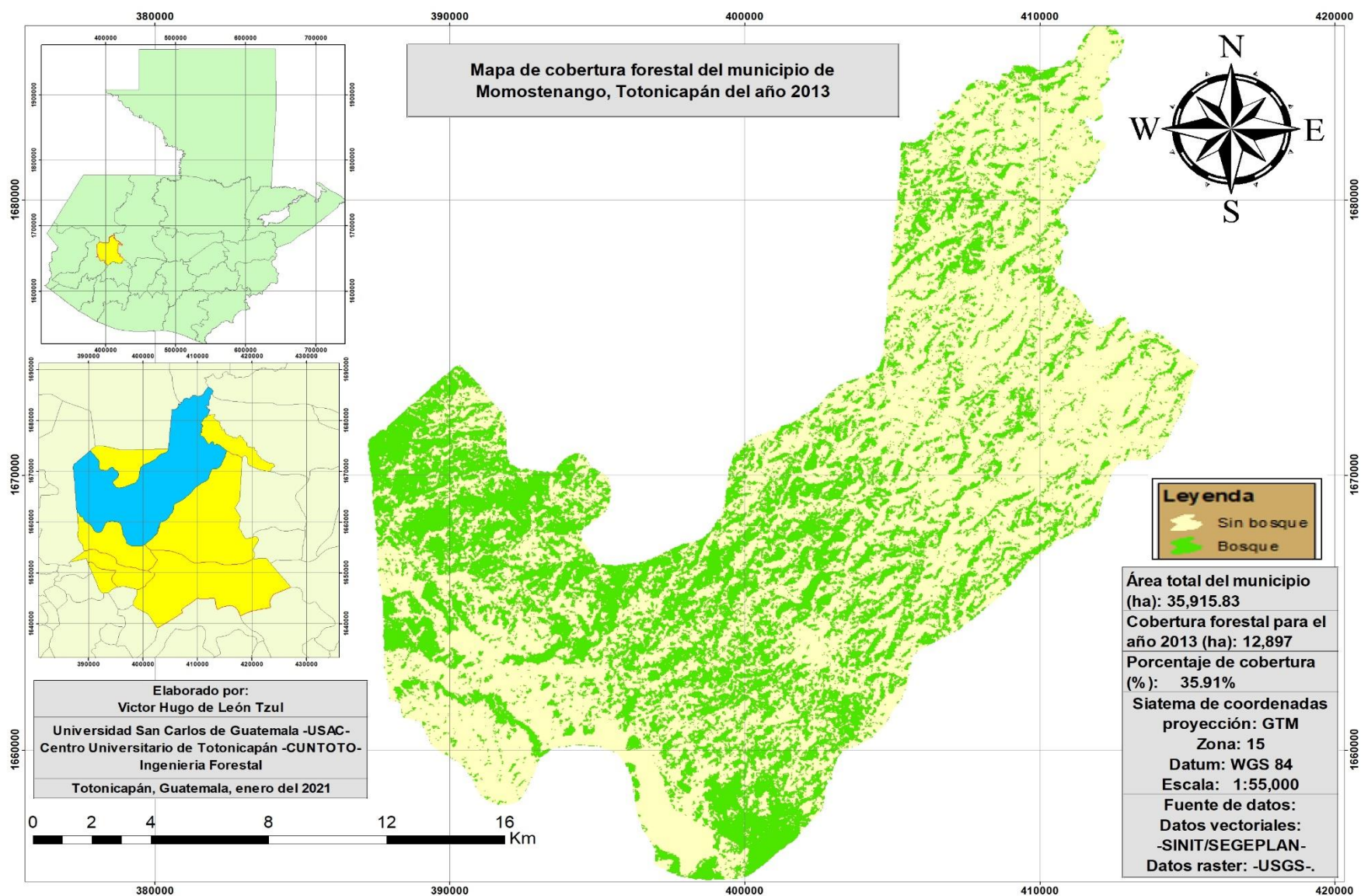


Figura 17. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2013.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

4.1.2. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2014

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2014.

Tabla 13. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2014.

Cuadro estadístico del año 2014					
Categorías	Número de píxeles por categoría	porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	111,854	28.23	100,668,600	10,066.86	100.67
Bosque	143,205	36.14	128,884,500	12,888.45	128.88
Cultivo	65,309	16.48	58,778,100	5877.81	58.78
Infraestructura y centros de población	56,476	14.25	50,828,400	5,082.84	50.83
Suelo sin cobertura	19,410	4.9	17,469,000	1,746.90	17.47
Valores mínimos	19,410	4.9	17,469,000	1,746.90	17.47
Valores máximos	143,205	36.14	128,884,500	12,888.45	128.88
Media	79,251	20	71,325,720	7,132.57	71.33
Desviación estándar	48,598	12.26	43,738,275	4,373.83	43.74
Suma total	396,254	100.00	356,628,600	35,662.86	356.63

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2020.

Del año 2014 se estimó 12,888.45 hectáreas de cobertura forestal, lo que evidencia que hubo áreas de pérdida entre los años 2013 y 2014 con un total de -8.55 ha de disminución de cubierta para el municipio de Momostenango, de igual forma se reflejan cambios en cuanto a la jerarquía de infraestructura y centros de población, incrementa en un área de 6.81 hectáreas, de la misma manera se refleja el aumento de suelo sin cubierta con una cantidad de 319.41 ha.

Del año 2014 se identificaron 35, 662.82 ha, esta es la suma total de la cantidad de área estimada por categoría como se describe en la tabla 13, la superficie base respecto al sitio identificado, existe una diferencia de 252.97 ha no identificadas, esto se debe a la discriminación de áreas pertenecientes a otro tipo de cubiertas que no fueron determinadas en la clasificación supervisada.

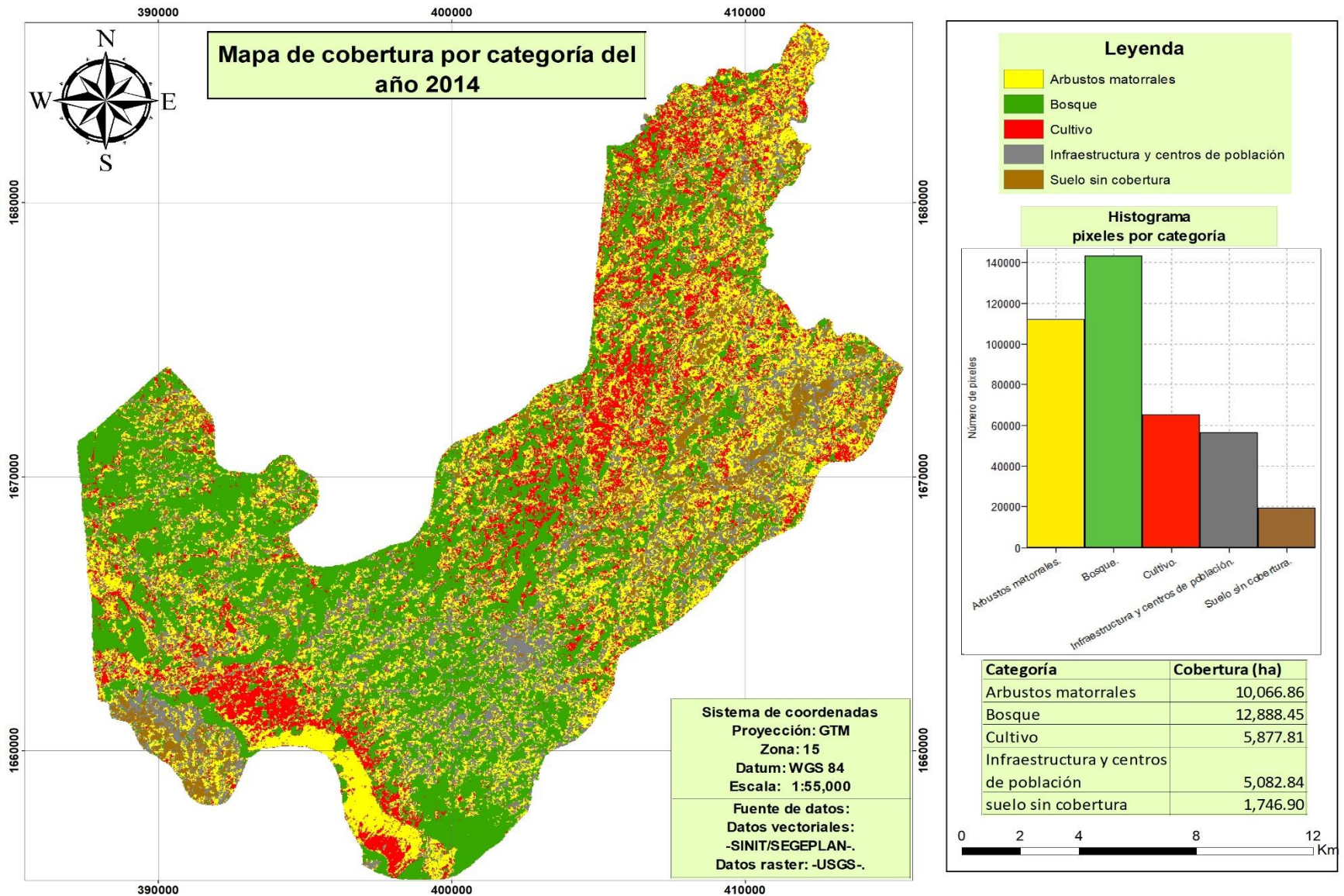


Figura 18. Mapa de cobertura por categorías del año 2014 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

4.1.2.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2014

Tabla 14. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2014.

Área total del municipio (ha).	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,662.86	252.97	Arbustos matorrales	28.03
			Bosque	35.89
			Cultivo	16.37
			Infraestructura y centros de población	14.15
			Suelo sin cobertura	4.86
			Área no definida	0.7
				100

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

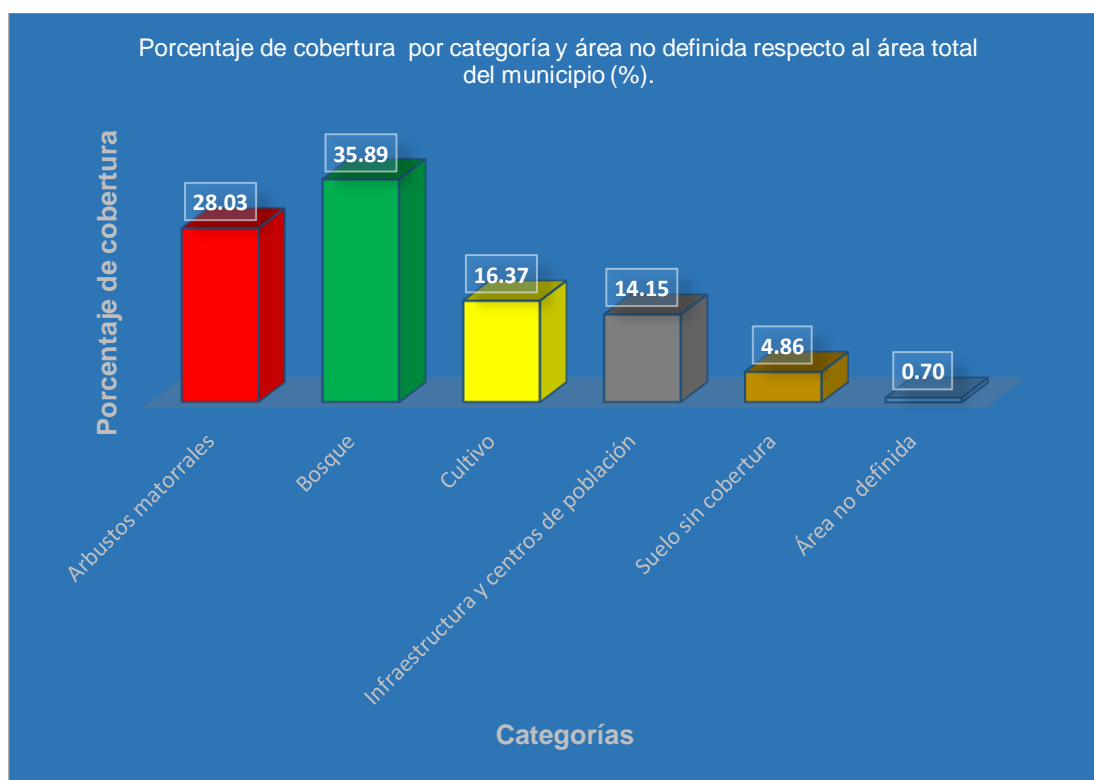


Figura 19. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

En la figura 19 se visualiza el porcentaje de cobertura forestal por categoría para el año 2014 en donde se estiman cambios en comparación a los porcentajes estimados del 2013.

Por debajo del sector del uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, que es una de las partes de interés en este caso, se encuentra en el esquema de la Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación Evitada y Degradación de la masa arbórea e Incremento de Stocks de Carbono en Guatemala, la cual se crea a partir del Convenio firmado entre el Ministerio de Finanzas y la Secretaría General de la Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en donde se nombra al Grupo de Coordinación Interinstitucional (GCI), conformado por el MARN, MAGA, INAB y CONAP, como entes ejecutores de dicha estrategia, (GIMBOT G. I., 2017).

La cobertura forestal para el año 2014 se estimó en 12,888.45 hectáreas (ha) lo que equivale a 128.88 km², lo que a su vez representa el 35.89% del municipio de Momostenango, de acuerdo con la tabla 13, siempre se visualiza que la masa arbórea y arbustos-matorrales, son las jerarquías con más presencia, sin embargo, se ha perdido un total de -8.55 ha de bosque entre los años 2013 y 2014, esta información permite comprender la prevalencia del cambio de usos de suelo por ello la importancia de la implementación de políticas ambientales que enfatizan la conservación de los recursos naturales como se menciona en la estrategia nacional para la reducción de emisiones por deforestación evitada y degradación de los mismos e Incremento de stocks de carbono en Guatemala.

Se presenta a continuación el mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2014.

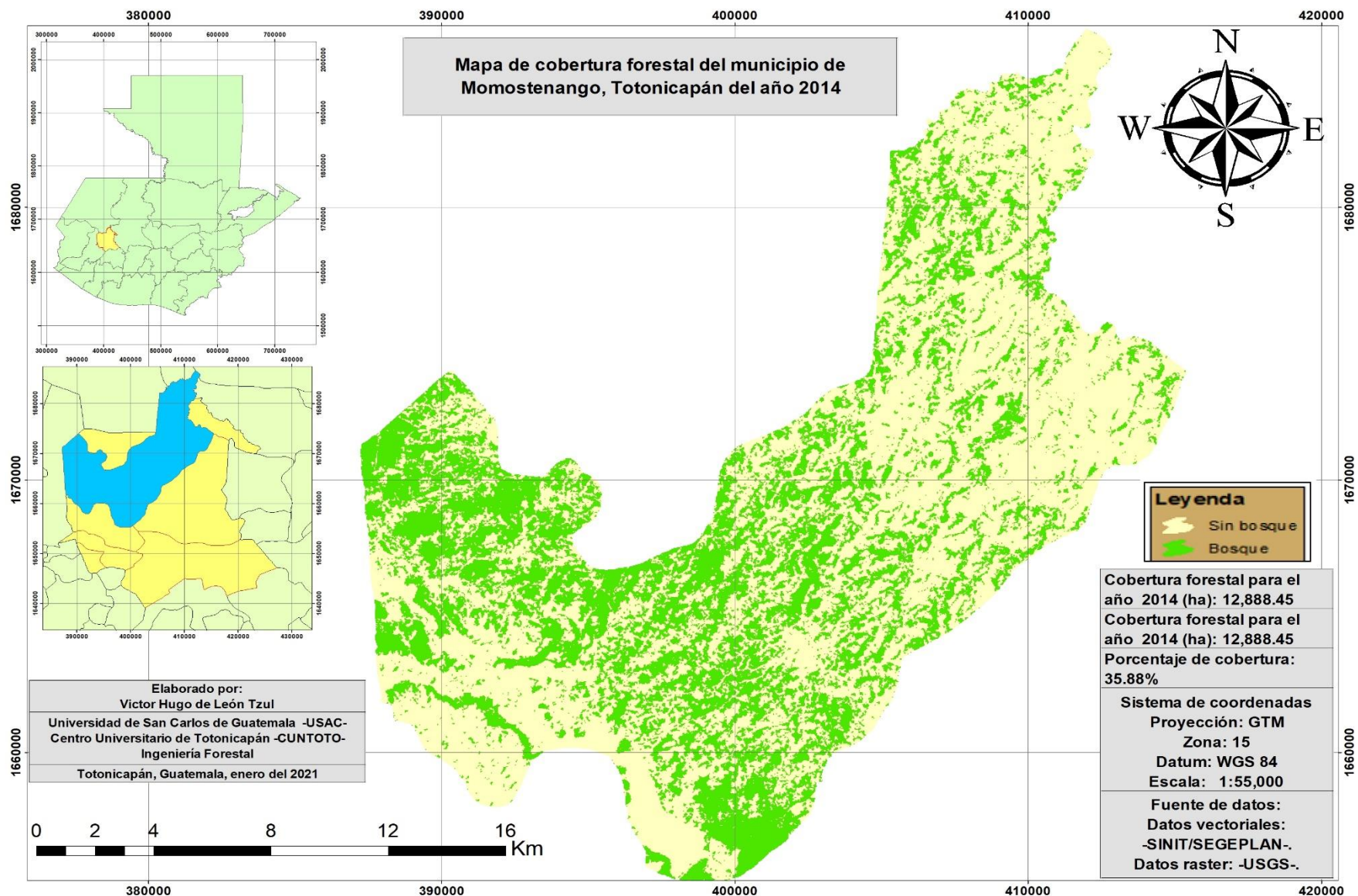


Figura 20. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2014.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

4.1.3. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2015

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2015.

Tabla 15. Área de cobertura por categoría del municipio Momostenango del año 2015.

Cuadro estadístico del año 2015					
Categorías	Número de píxeles por categoría	porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	110,787	27.95	99,708,300	9,970.83	99.71
Bosque	143,113	36.1	128,801,700	12,880.17	128.8
Cultivo	66,041	16.66	59,436,900	5,943.69	59.44
Infraestructura y centros de población	56,516	14.26	50,864,400	5,086.44	50.86
Suelo sin cobertura	19,937	5.03	17,943,300	1,794.33	17.94
Valores mínimos	19,937	5.03	17,943,300	1,794.33	17.94
Valores máximos	143,113	36.1	128,801,700	12,880.17	128.8
Media	79,279	20	71,350,920	7,135.09	71.35
Desviación estándar	48,173	12.15	43,355,358	4,335.54	43.36
Suma total	396,394	100.00	356,754,600	35,675.46	356.75

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2020.

Del año 2015 se estimó el área de cobertura forestal en 12,880.17 hectáreas, mientras que en el 2014 fue de 12,888.45 ha y el 2013 se calculó 12,897.00 hectáreas, esto demuestra que hubo disminución de bosque, en estos años. Mientras que las áreas sin masa arbórea presentan datos ascendentes tal como se muestran en las tablas 15, 13 y 11 respectivamente.

A continuación, se visualiza el mapa de cobertura por categoría del año 2015.

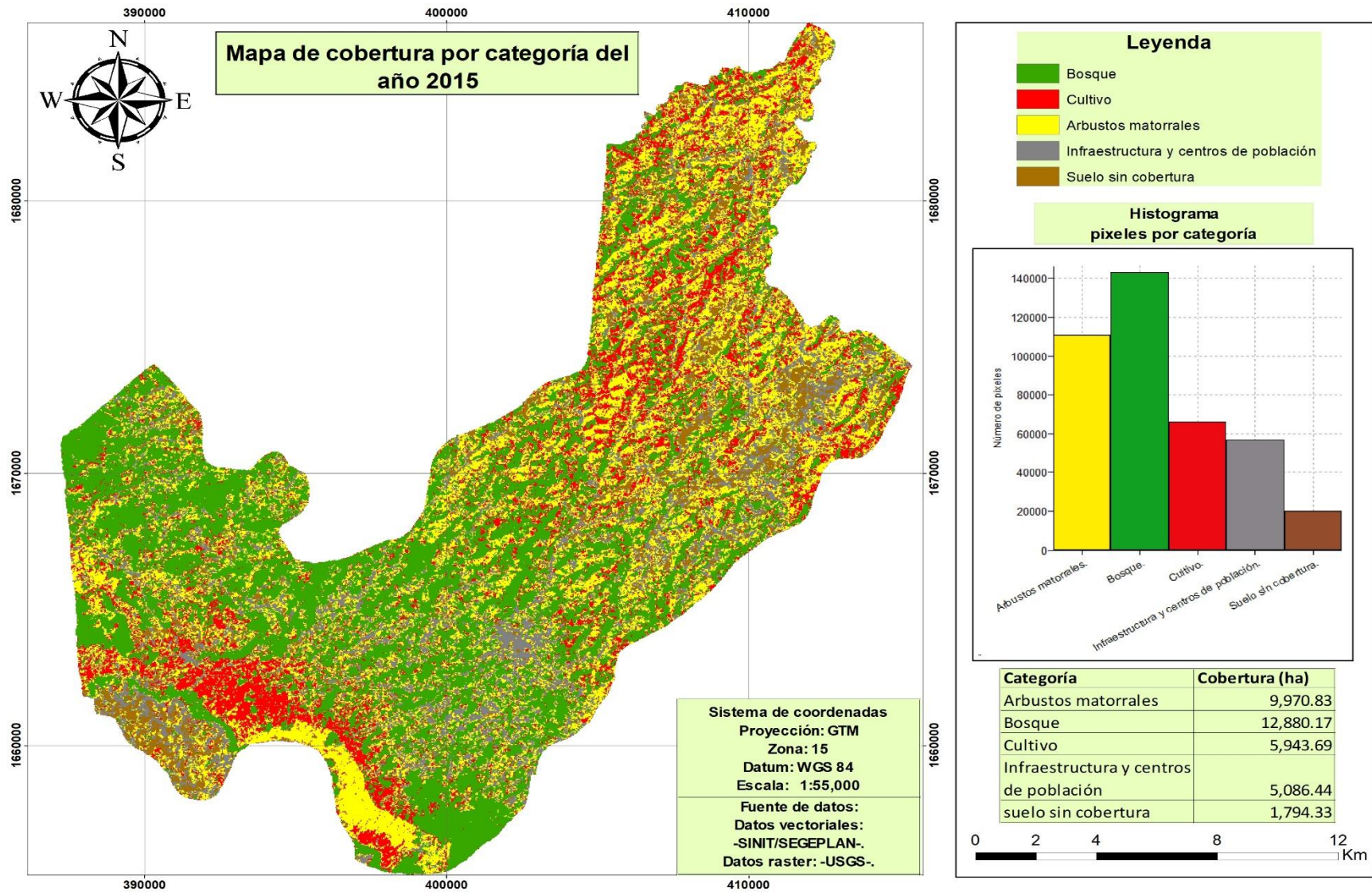


Figura 21. Mapa de cobertura por categorías del año 2015 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

4.1.3.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2015

Tabla 16. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2015.

Área total del municipio (ha).	Área total identificada (ha).	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,675.46	240.37	Arbustos matorrales	27.76
			Bosque	35.86
			Cultivo	16.55
			Infraestructura y centros de población	14.16
			Suelo sin cobertura	5.00
			Área no definida	0.67
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del 2021.

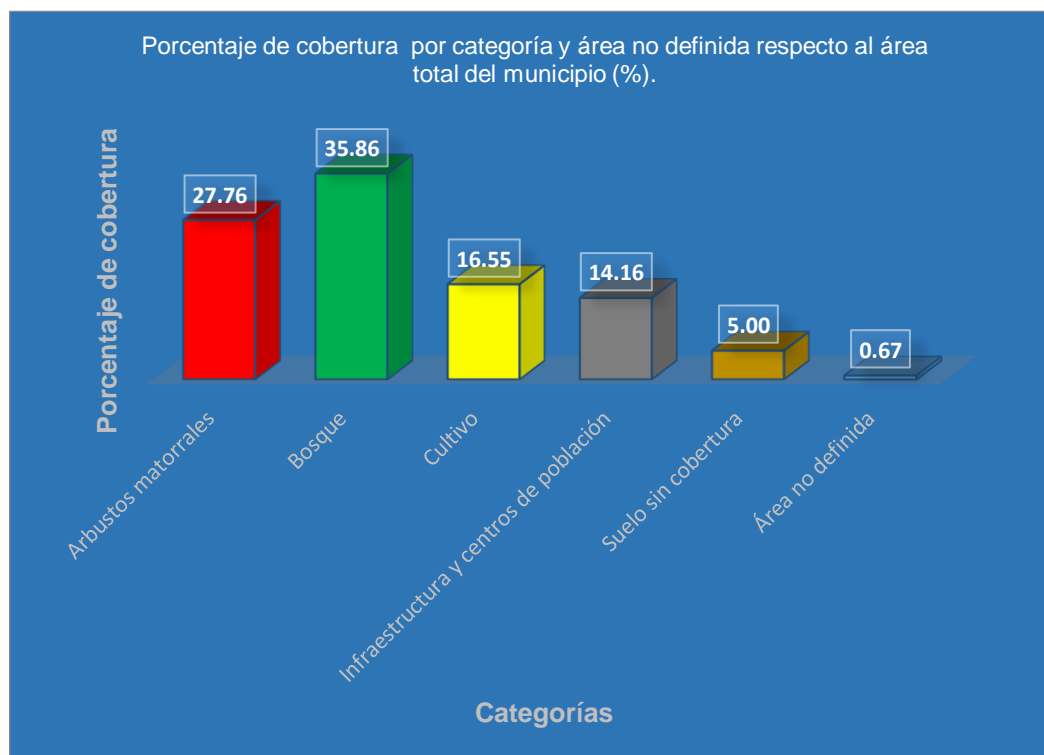


Figura 22. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

En el año 2015 se estimó un total de 12,880.17 hectáreas de cobertura forestal lo equivalente a 128.8 km², cubriendo de esta madera un 35.86% del área total del municipio de Momostenango, para este año es evidente que en el transcurso de tres años el porcentaje de cubierta forestal ha venido disminuyendo por razones antropogénicas.

La pobreza y la deforestación se pueden asociar entre sí a través de la falta de ocupaciones no agrícolas. La inexistencia de otras alternativas de trabajo crea una restricción que obliga frecuentemente a ejercer actividades con ingresos bajos. Entre estas actividades se encuentra la transformación de áreas forestales en espacios agrícolas, la mayoría de las veces no aptas para ese tipo de uso; o bien buscan en el bosque una fuente de ingresos económicos, a través de la extracción de leña para la venta en el mercado local; en muchas comunidades el recurso energético se considera un bien de libre y acceso, sean estos bosques naturales de propiedad comunal o privada, dando lugar a situaciones de ingobernabilidad, (FAO, Guatemala, 2015).

En el municipio de Momostenango existe un alto porcentaje de pobreza, en las áreas rurales es donde se evidencia este tipo de problema ambiental con pocas oportunidades laborales para los pobladores por lo que ha sido uno de los factores que ha afectado a los recursos forestales, se puede verificar, que para el año 2015 se estimó un total de área de 12,880.17 hectáreas de cobertura forestal lo equivalente a 128.8 km² cubriendo de esta madera un 35.86% de la superficie total del municipio de Momostenango, es evidente que en el transcurso de tres años el porcentaje de cubierta forestal ha venido disminuyendo aceleradamente por razones antropogénicas, siendo uno de ellos la tala inmoderada de árboles y el avance de la frontera agrícola.

Por otro lado, entre los años 2014 al 2015 se estimó una pérdida de -8.28 hectáreas de bosque a nivel del municipio de Momostenango y de acuerdo al porcentaje de cobertura del 2013 correspondía a un 35.91%, sin embargo, como se visualiza en la figura 22 en el año 2015 disminuye a un 35.86% respecto al área total del territorio municipal y se nota el porcentaje de incremento en las categorías como infraestructura y centros de población, finalmente se presenta el mapa de cubierta forestal para el año en mención.

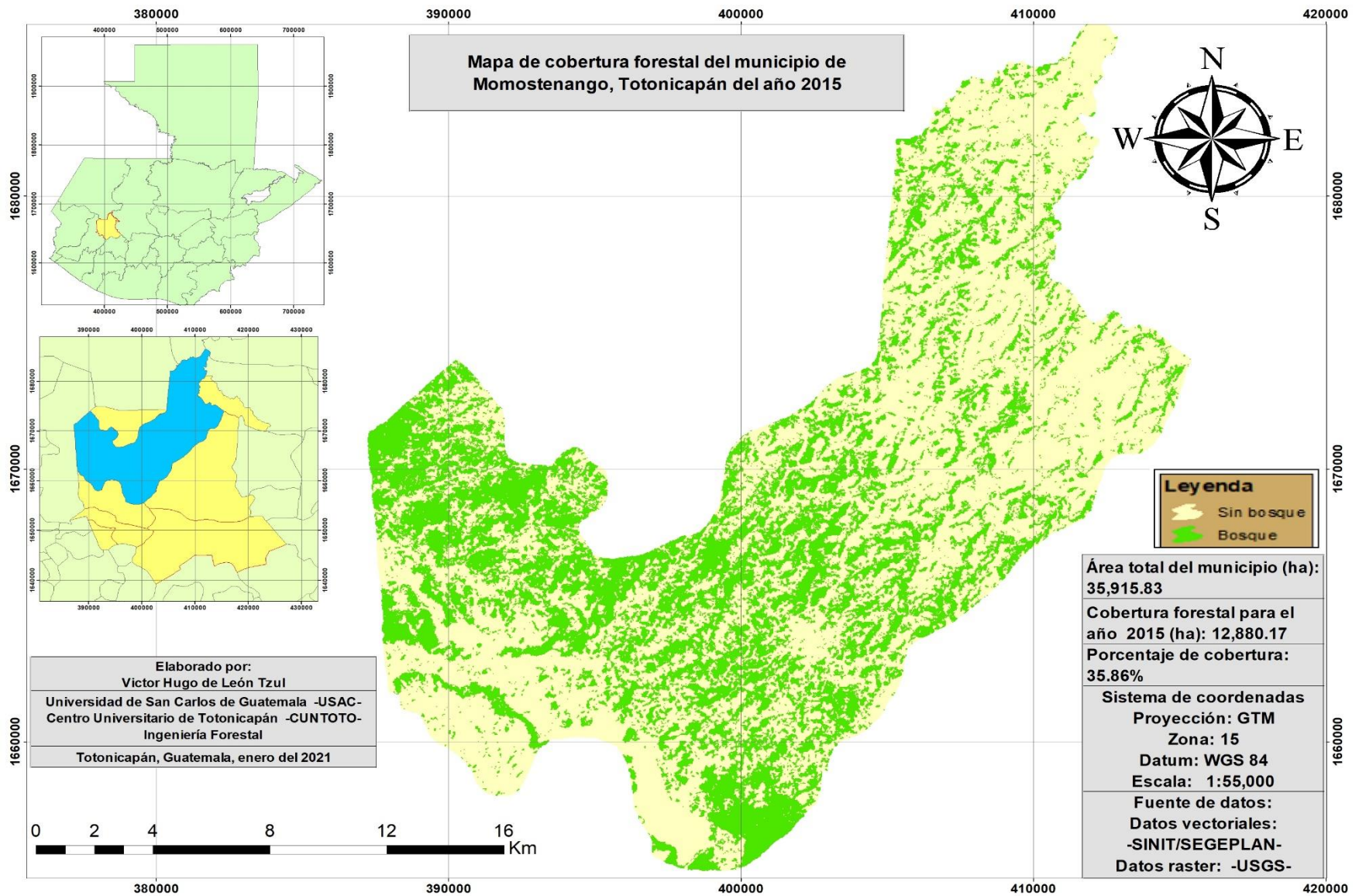


Figura 23. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2015.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2020.

4.1.4. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2016

Tabla 17. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2016.

Cuadro estadístico del año 2016					
Categorías	Número de píxeles por categoría	Porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	110,247	27.82	99,222,300	9,922.23	99.22
Bosque	143,151	36.12	128,835,900	12,883.59	128.84
Cultivo	52,626	13.28	47,363,400	4,736.34	47.36
Infraestructura y centros de población	59,724	15.07	53,751,600	5,375.16	53.75
Suelo sin cobertura	30,605	7.72	27,544,500	2,754.45	27.54
Valores mínimos	30,605	7.72	27,544,500	2,754.45	27.54
Valores máximos	143,151	36.12	128,835,900	12,883.59	128.84
Media	79,271	20	71,343,540	7,134.35	71.34
Desviación estándar	46,099	11.63	41,489,384	4,148.94	41.49
Suma total	396,353	100.00	356,717,700	35,671.77	356.71

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2020.

Es importante resaltar que de acuerdo a la tabla 17, se visualiza una desviación estándar relativamente grande lo que para este año se calculó 4,148.94 hectáreas, sin embargo, este se mantiene por debajo de la media, esto da a entender que la mayoría de las categorías se mantienen por debajo de ella, siendo: suelo sin cobertura, Infraestructura-centros de población y cultivo. El resto que corresponde a cubierta con más cobertura corresponde a bosques y arbustos matorrales, además, se visualiza que en todas las jerarquías se reflejan incremento y disminución en cuanto a su cubierta, en el caso de la infraestructura y centros de población, siempre se ha incrementado en el transcurso de los años analizados.

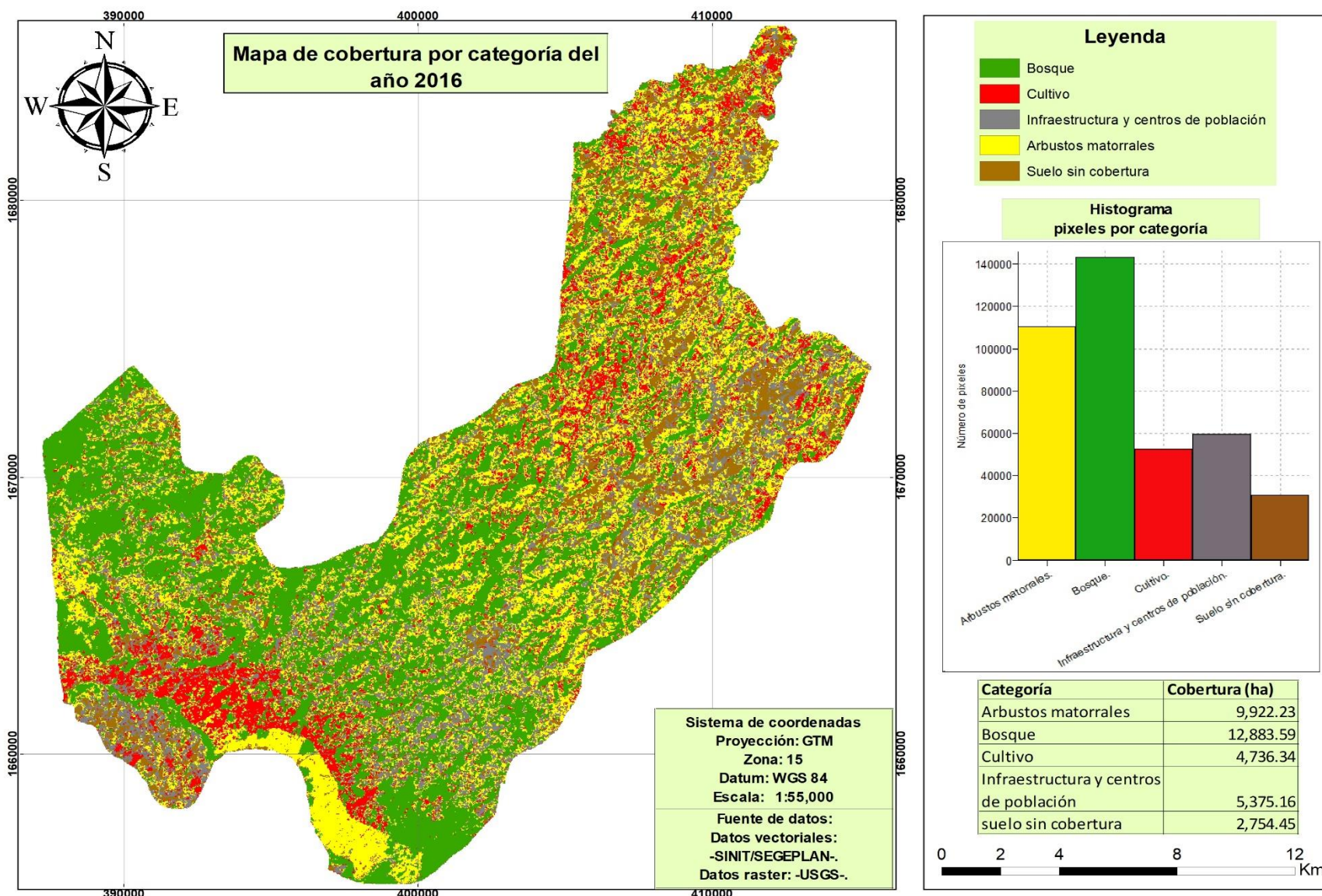


Figura 24: Mapa de cobertura por categoría del año 2016 del municipio de Momostenango.

Fuente: Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.4.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2016

Área total del municipio (ha)	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,671.77	244.06	Arbustos matorrales	27.63
			Bosque	35.87
			Cultivo	13.19
			Infraestructura y centros de población	14.97
			Suelo sin cobertura	7.67
			Área no definida	0.68
				100.00

Tabla 18. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2016.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

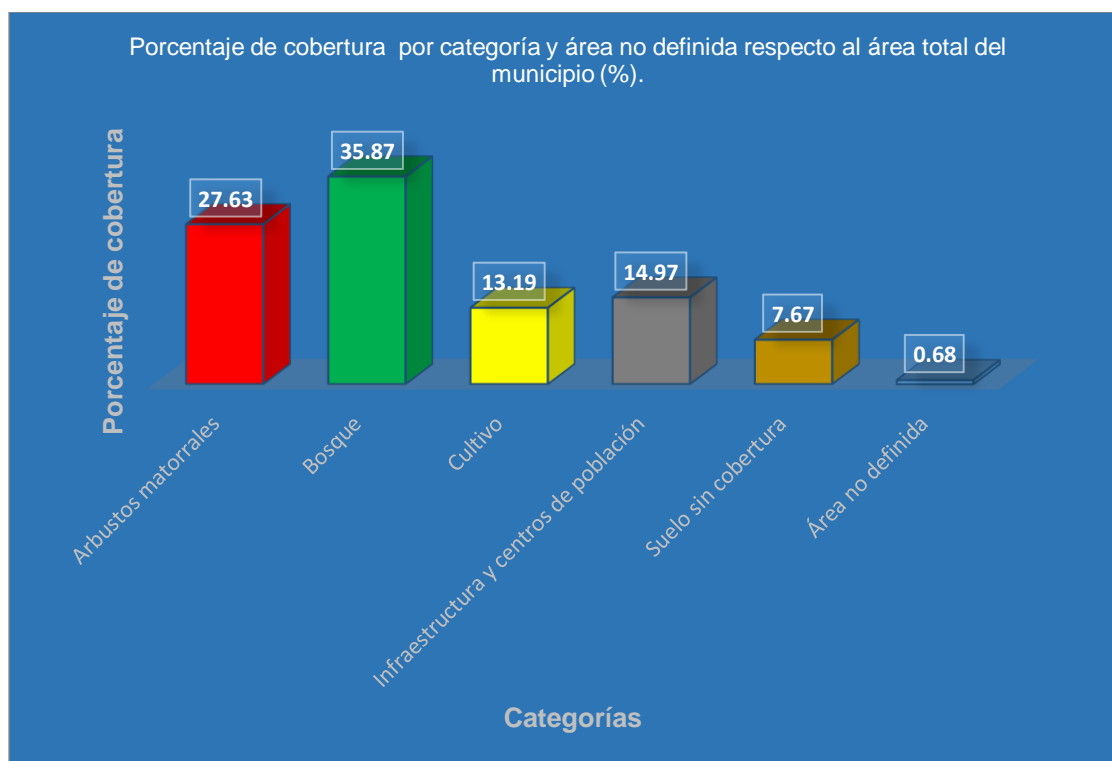


Figura 25. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

Del año 2016 se calculó un total de 12,883.19 hectáreas lo equivalente a 128.84 km², esto representa el 35.87% de cobertura forestal respecto al área total del municipio de Momostenango, se refleja un incremento de los bosques a pesar de que existen varias actividades antropogénicas que degradan los bosques, como lo es el consumo de leña, a diferencia de los años 2015 al 2016 se logra la ganancia total de 3.42 ha de masa boscosa para la Villa.

La restauración del paisaje forestal se ha venido consolidando como un movimiento mundial con beneficios nacionales y locales desde el año 2011, cuando surge la iniciativa del Desafío de Bonn. Esta iniciativa buscaba restaurar, para el 2020, 150 millones de hectáreas degradadas en el mundo; sin embargo, la meta se alcanzó en el 2014. Este logro generó gran entusiasmo, por lo que la meta se incrementó a 350 millones de hectáreas restauradas para el 2030. Como parte de esta iniciativa, Guatemala se ha comprometido con la restauración de 1.2 millones de hectáreas en su territorio, con el fin de contribuir al desarrollo integral y sostenible del país y el bienestar de su población, (Mesa nacional de restauración del paisaje forestal de Guatemala , 2018).

De acuerdo a la investigación es interesante resaltar, que los mapas temáticos generados evidencia ganancia en la cubierta forestal, es decir, que entre los años 2015 y 2016 se obtiene una ganancia 3.42 hectáreas, básicamente para este período de tiempo se nota una diferencia positiva inclinada a los bosques, esto se debe a que a nivel municipal se ha contado con un vivero municipal, que a su vez ha contribuido a la distribución de plántulas forestales para promover la reforestación en las diferentes aldeas y caseríos del municipio de Momostenango, contribuyendo con ello a la restauración del paisaje boscoso.

Se presenta entonces el mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2016.

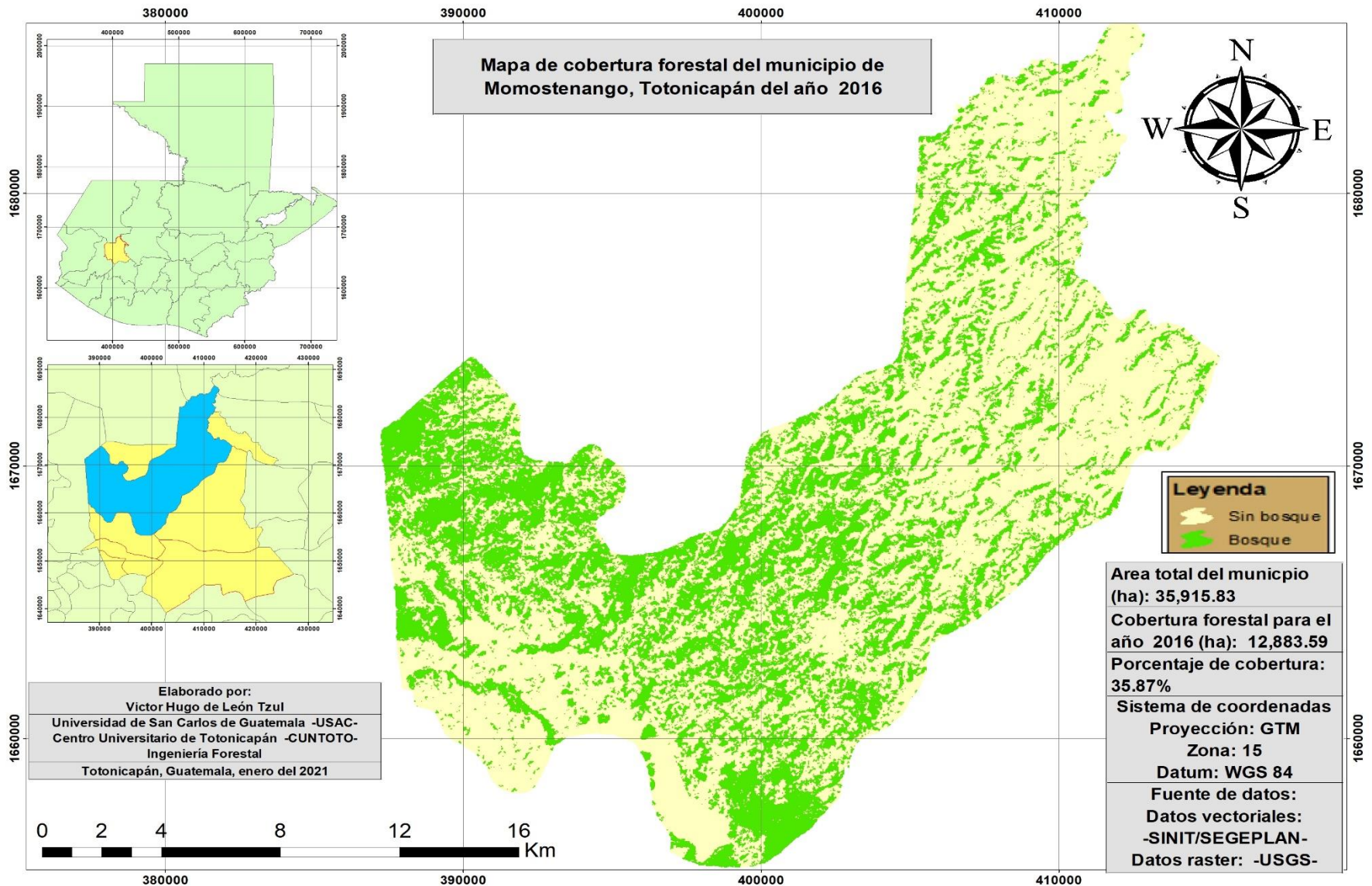


Figura 26: Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2016.

Fuente: Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.5. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2017

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2017.

Tabla 19. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2017.

Cuadro estadístico del año 2017					
Categorías	Número de píxeles por categoría	Porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	112,183	28.25	100,768,391	10,076.84	100.77
Bosque	143,419	36.11	128,826,131	12,882.61	128.83
Cultivo	60,793	15.31	54,607,318.1	5,460.73	54.61
Infraestructura y centros de población	61,098	15.38	54,881,284.4	5,488.13	54.88
Suelo sin cobertura	19,655	4.95	17,655,105.6	1,765.51	17.66
Valores mínimos	19,655	4.95	17,655,105.6	1,765.51	17.66
Valores máximos	143,419	36.11	128,826,131	12,882.61	128.83
Media	79,430	20	71,347,645.8	7,134.76	71.35
Desviación estándar	48,538	12.22	43,599,383.4	4,359.94	43.6
Suma total	397,148	100.00	356,738,229	35,673.82	356.75

Fuente. Elaboración propia, diciembre del año 2020.

Al verificar la tabla 19, se refleja de nuevo pérdidas en la cobertura forestal, la estimación para este año 2017 fue de 12, 882.61 hectáreas de bosque, esto quiere decir que entre los años 2016 al 2017 se han talado un total de 0.98 ha de cubierta forestal, esta cantidad es menor que las disminuciones que se han tenido anteriormente, se podría decir que en esos periodos de tiempo hubo una fuerte presión en la disminución la masa arbórea en comparación a los demás años analizados.

A continuación, se presenta el mapa de cobertura por categoría del año 2017.

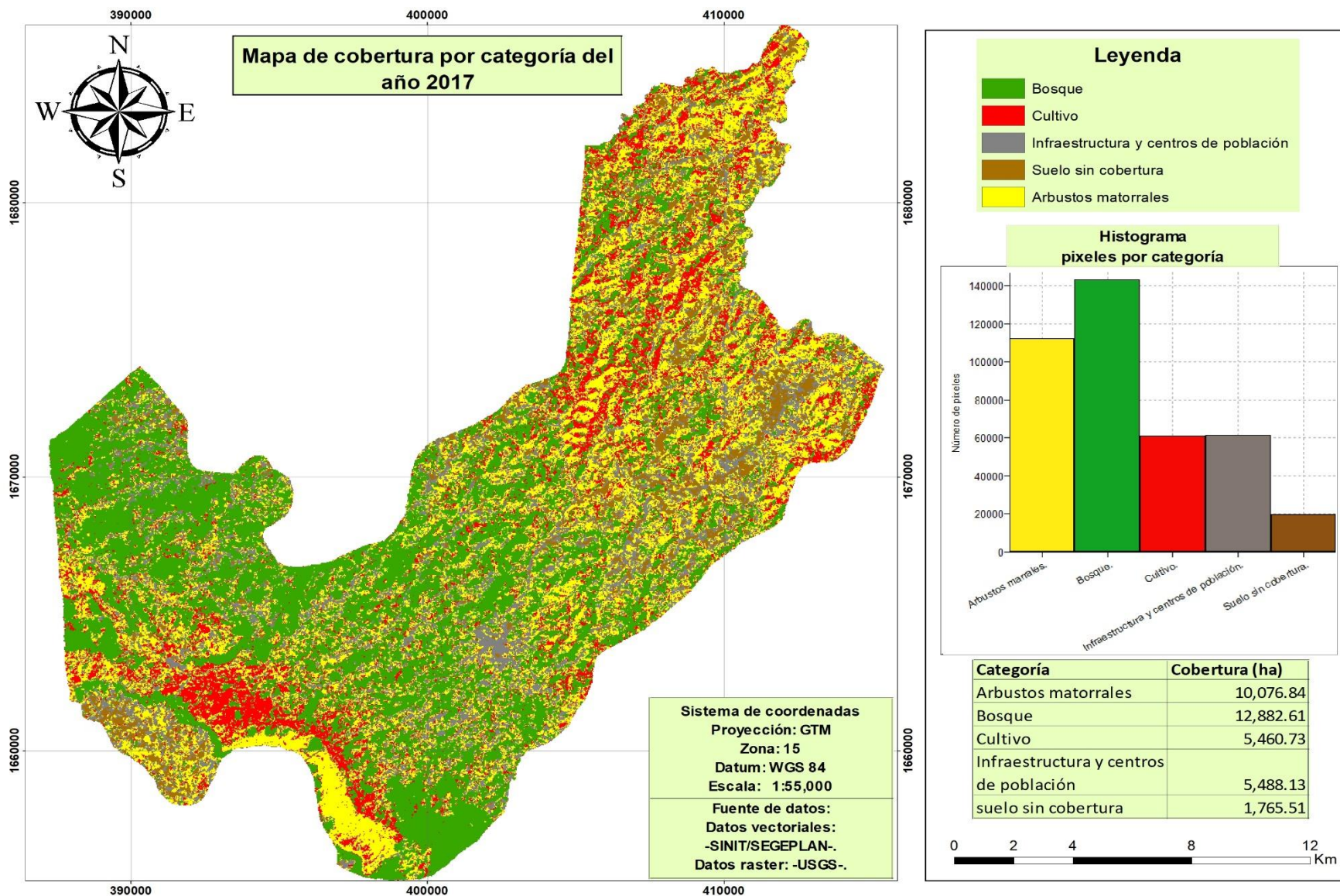


Figura 27: Mapa de cobertura por categoría del año 2017 del municipio de Momostenango.

Fuente: Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.5.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2017

Tabla 20. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2017.

Área total del municipio (ha).	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,673.82	242.01	Arbustos matorrales	28.06
			Bosque	35.87
			Cultivo	15.20
			Infraestructura y centros de población	15.28
			Suelo sin cobertura	4.92
			Área no definida	0.67
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

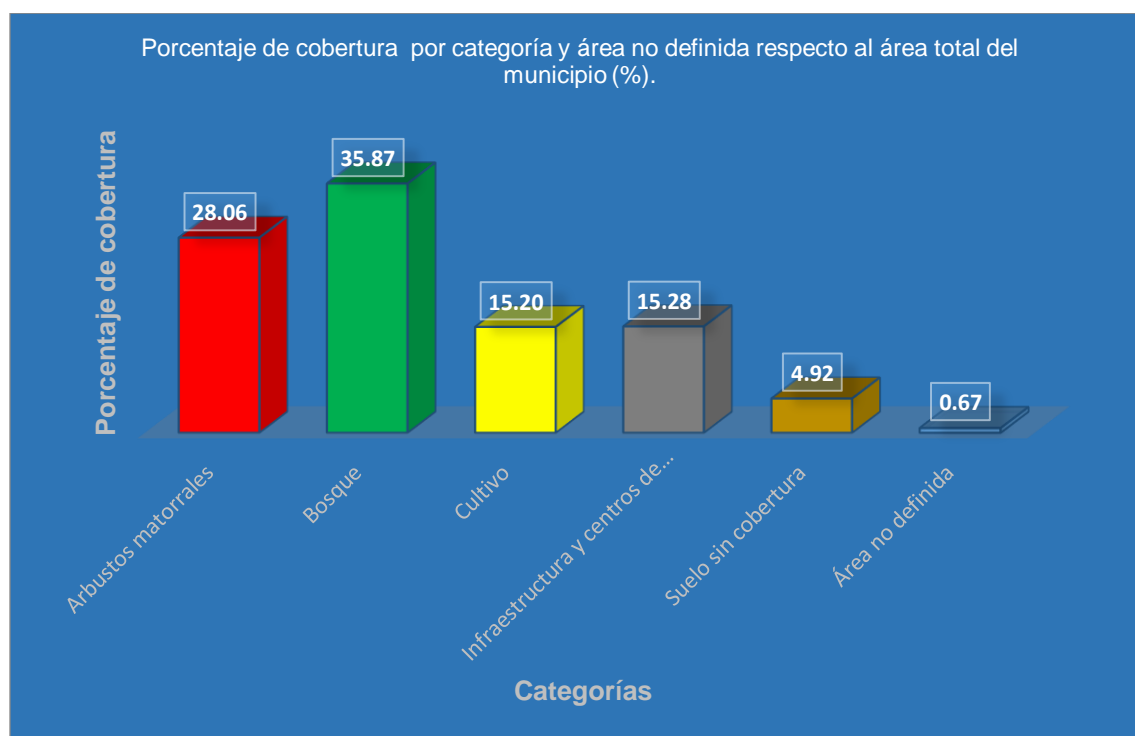


Figura 28. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

Del año 2017 en el municipio de Momostenango se evaluó una cantidad de cobertura forestal de 12, 882.61 hectáreas equivalente a 128.83 km², representando de esta manera el 35.87% de masa arbórea respecto al área total, dentro de este panorama es oportuno describir que por necesidades básicas de los pobladores se ha ido talando el bosque, por lo que se refleja la categoría de cultivo representa 5,460.73 ha que abarca el 54.61 kilómetros cuadrados, que porcentualmente tienen un valor del 15.20% respectivamente; es decir, que se refleja un constante avance de la frontera agrícola.

La agricultura de subsistencia es la fuente principal de alimentos para las poblaciones más vulnerables de Guatemala. La producción de granos básicos (maíz, frijol, arroz y maicillo) y de hortalizas y frutas cubre 3.108.300 hectáreas distribuidas en el 65,2% del territorio nacional, en suelos aptos para manejo de bosques naturales, actividad forestal, pecuaria y cultivos agrícolas no arables. La productividad de dichas tierras se ve mermada por prácticas inadecuadas de manejo y conservación de suelos, lo que conlleva a una mayor erosión y pérdida de nutrientes, (Mesa nacional de restauración del paisaje forestal de Guatemala , 2018)

En la villa de Momostenango prevalece un alto porcentaje de suelos pobres no aptos para la agricultura, sin embargo, la falta de oportunidades impulsa a las personas a tomar los recursos forestales como fuente de ingresos como ya se ha explicado en los párrafos anteriores, de acuerdo a los mapas temáticos generados sobre la cobertura forestal del municipio demuestra que en la parte norte es donde existe una menor proporción de especies arbóreas, sin embargo uno de los factores que han sido de vital importancia para contrarrestar la degradación de los bosques ha sido el vivero municipal, porque ha contribuido a promover reforestaciones con los pobladores y centros educativos de las diferentes aldeas y caseríos.

Finalmente se presenta el mapa de cobertura forestal del año 2017 del municipio de Momostenango.

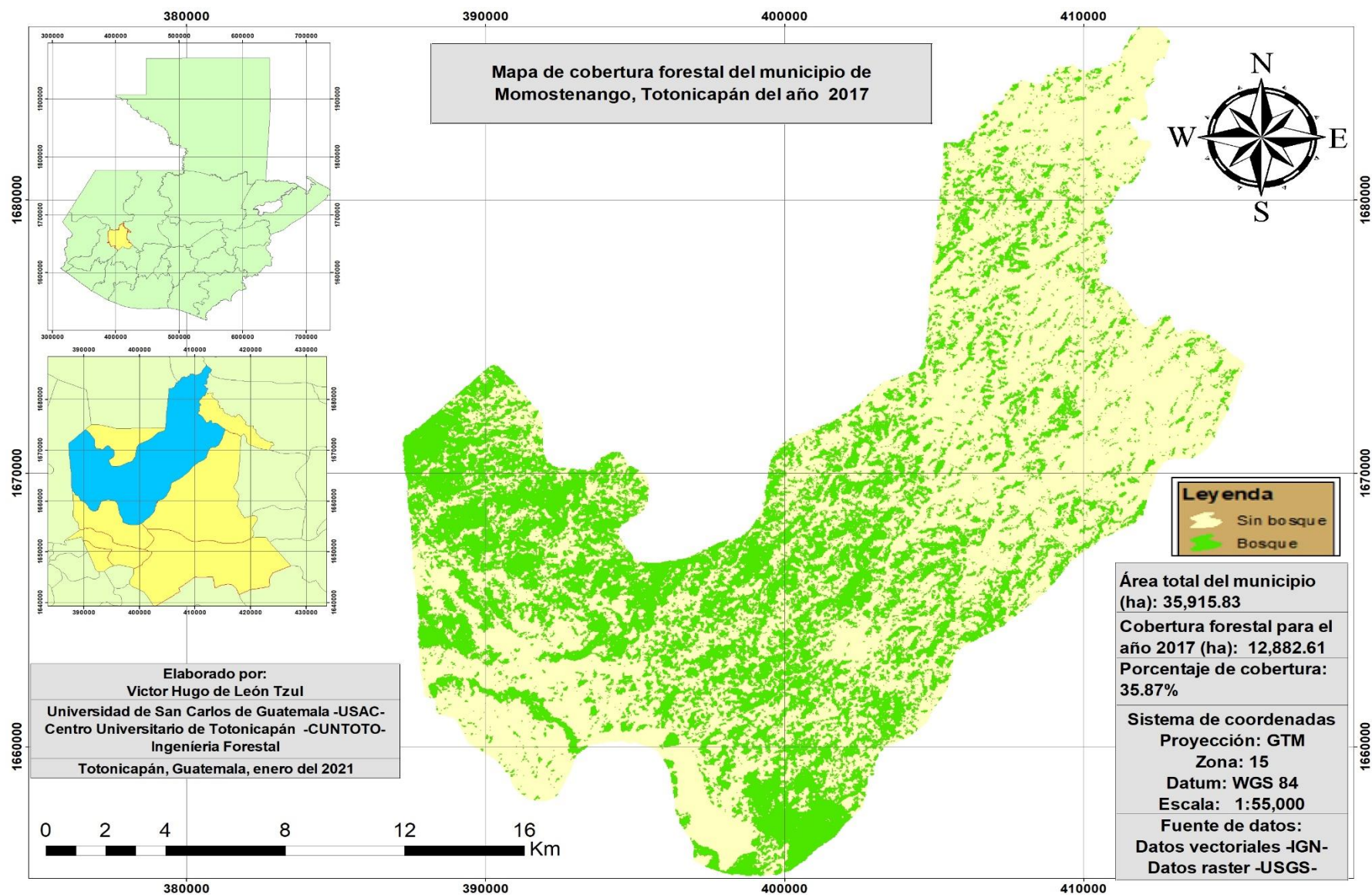


Figura 29: Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2017.

Fuente: Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.6. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2018

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2018.

Tabla 21. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2018.

Cuadro estadístico del año 2018					
Categorías	Número de píxeles por categoría	Porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	113,757	28.71	102,381,300	10,238.13	102.38
Bosque	143,026	36.09	128,723,400	12,872.34	128.72
Cultivo	58,186	14.68	52,367,400	5,236.74	52.37
Infraestructura y centros de población	61,910	15.62	55,719,000	5,571.90	55.72
Suelo sin cobertura	19,410	4.9	17,469,000	1,746.90	17.47
Valores mínimos	19,410	4.9	17,469,000	1,746.90	17.47
Valores máximos	143,026	36.09	128,723,400	12,872.34	128.72
Media	79,258	20	71,332,020	7,133.20	71.33
Desviación estándar	48,947	12.35	44,052,459	4,405.25	44.05
Suma total	396,289	100.00	356,660,100	35,666.01	356.66

Fuente. elaboración propia, diciembre del año 2020.

De acuerdo a la tabla 21 se identificaron un total de 35,666.01 hectáreas (ha) siendo la suma total de área por categoría teniendo así una diferencia de 249.82 ha no identificada respecto a la superficie total del municipio.

En el año 2018 se estimó un total de 12,872.34 hectáreas de cobertura forestal lo que evidencia la pérdida de bosque al transcurso del tiempo, entre este periodo del 2017 al 2018 se ha perdido un total de 10.27 hectáreas, en este tiempo se podría decir que ha sido el que más cubierta ha disminuido a comparación de los años anteriores y de igual manera la categoría de infraestructura y centros de población se determina con un continuo crecimiento, por lo que también ha sido uno de los factores que ha contribuido a la reducción del bosque.

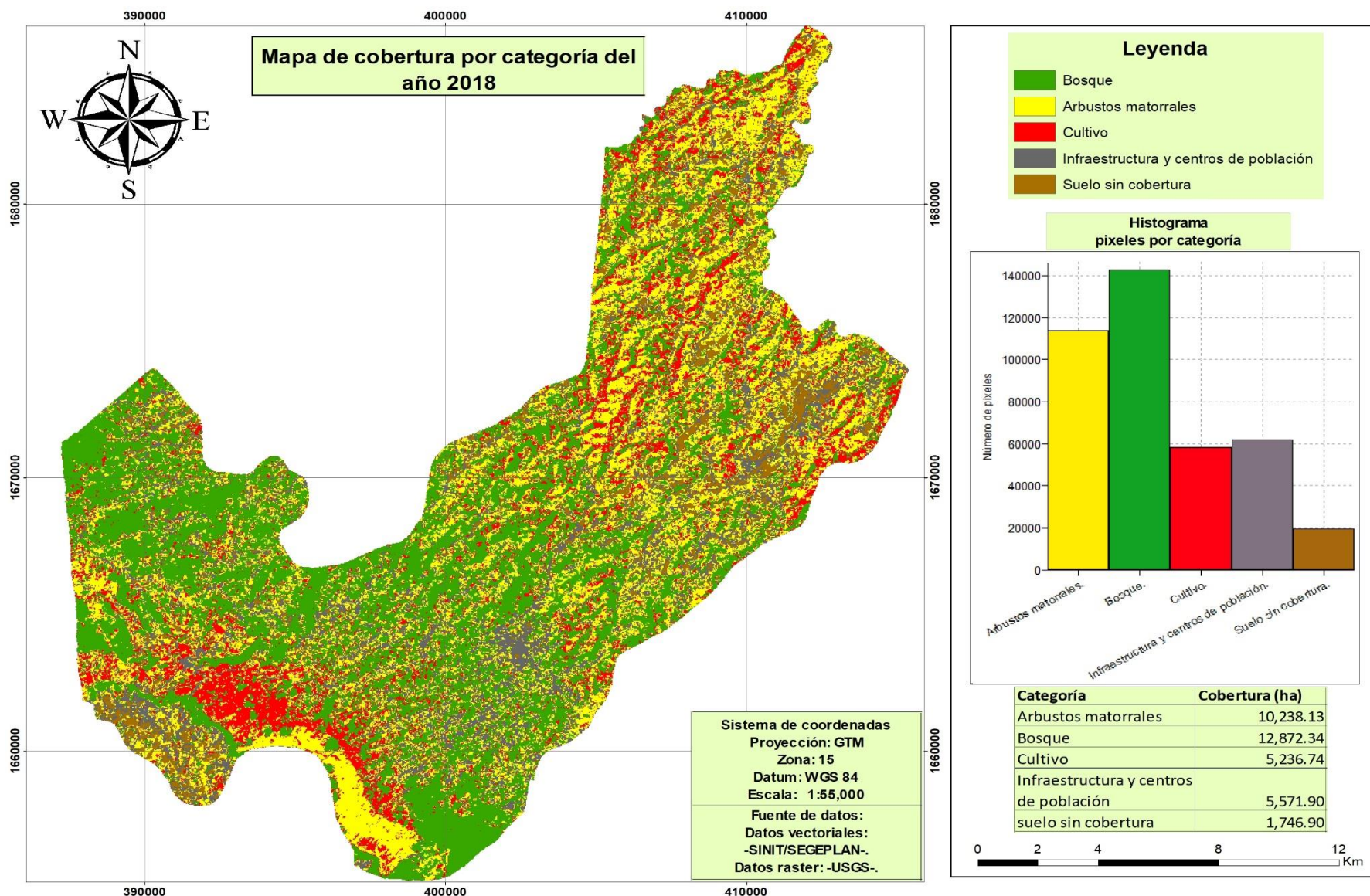


Figura 30. Mapa de cobertura por categoría del año 2018 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.6.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2018

Tabla 22. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2018.

Área total del municipio (ha).	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,666.01	249.82	Arbustos matorrales	28.51
			Bosque	35.84
			Cultivo	14.58
			Infraestructura y centros de población	15.51
			Suelo sin cobertura	4.86
			Área no definida	0.70
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

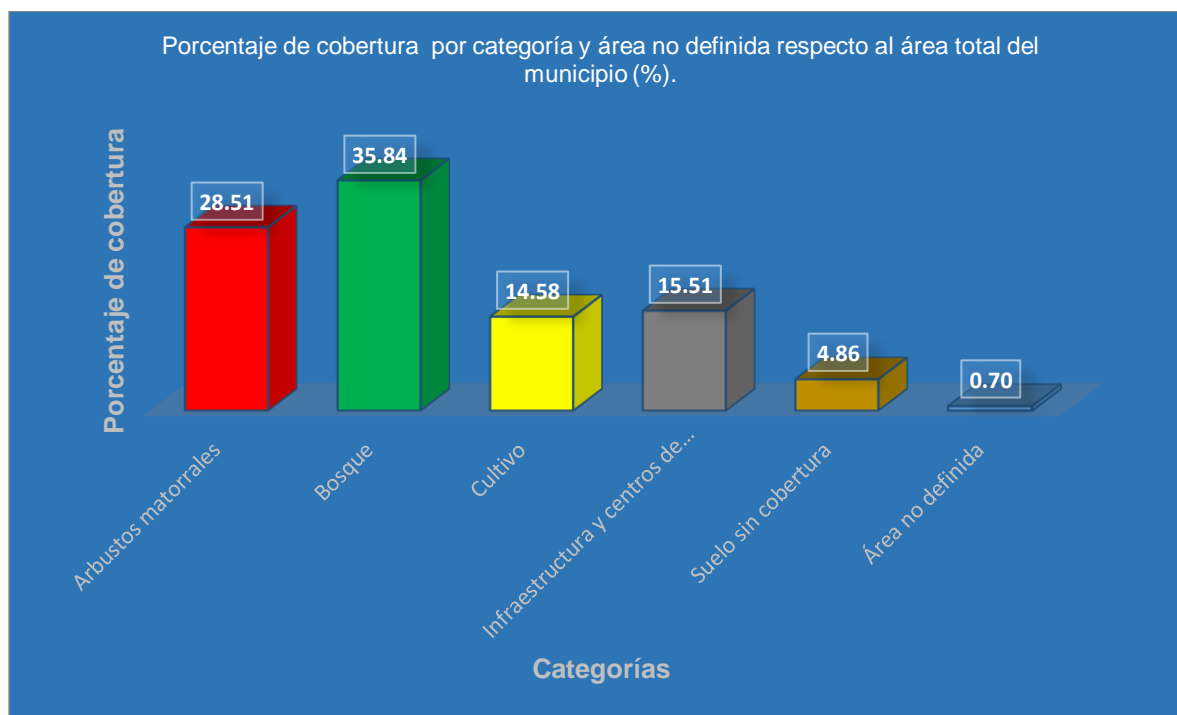


Figura 31. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

Se identificaron un total de 35,666.01 hectáreas (ha), éste es la suma total de tamaños de área que cubre cada categoría, las jerarquías con más cobertura son bosques y arbustos y matorrales, sin embargo, se ha visto un decrecimiento en cuanto a la cubierta de la masa boscosa y un incremento significativo en la infraestructura y centros de población como se describen en los cuadros estadísticos por cada año analizado

La destrucción de la cubierta vegetal supone asimismo cambios trascendentes en el microclima instaurado. La capacidad del bosque para disminuir en su ámbito la media de las temperaturas, rebajando las máximas y elevando las mínimas con respecto al entorno exterior; su labor moderadora de la insolación, de la irradiación térmica y de la absorción fónica; la menor velocidad del viento, frenada por la espesura de la arboleda y un porcentaje de humedad relativa más alta y menos oscilante a causa de la acción conjunta y duradera de temperaturas más bajas, menor poder desecante del aire y mayor infiltración, al prolongarse a lo largo del tiempo, favorecen la creación y mantenimiento de un microclima que tan activamente interviene en la transformación de los residuos vegetales en humus y en la reconstrucción del suelo, (Girón, 2006)

La cobertura forestal del año 2018 se estimó en 12,872.34 hectáreas (ha) equivalente a 128.72 km², este a su vez representa para este período el 35.84% de cubierta respecto al área total del municipio, en comparación a los años anteriores el porcentaje ha venido disminuyendo significativamente, a excepción del año 2016 que se recuperó 3.42 hectáreas, que evidencia las actividades promovidas a favor de los bosques, pero no han sido suficiente para contrarrestar la degradación del mismo y la tendencia de la cobertura arbórea continua en disminución, si no se logra contrarrestar se tendrá como resultado un gran desequilibrio en el patrón de los tiempos climatológicos como se describe en el párrafo anterior.

Se presenta el mapa de cobertura forestal para el año 2018 del municipio de Momostenango.

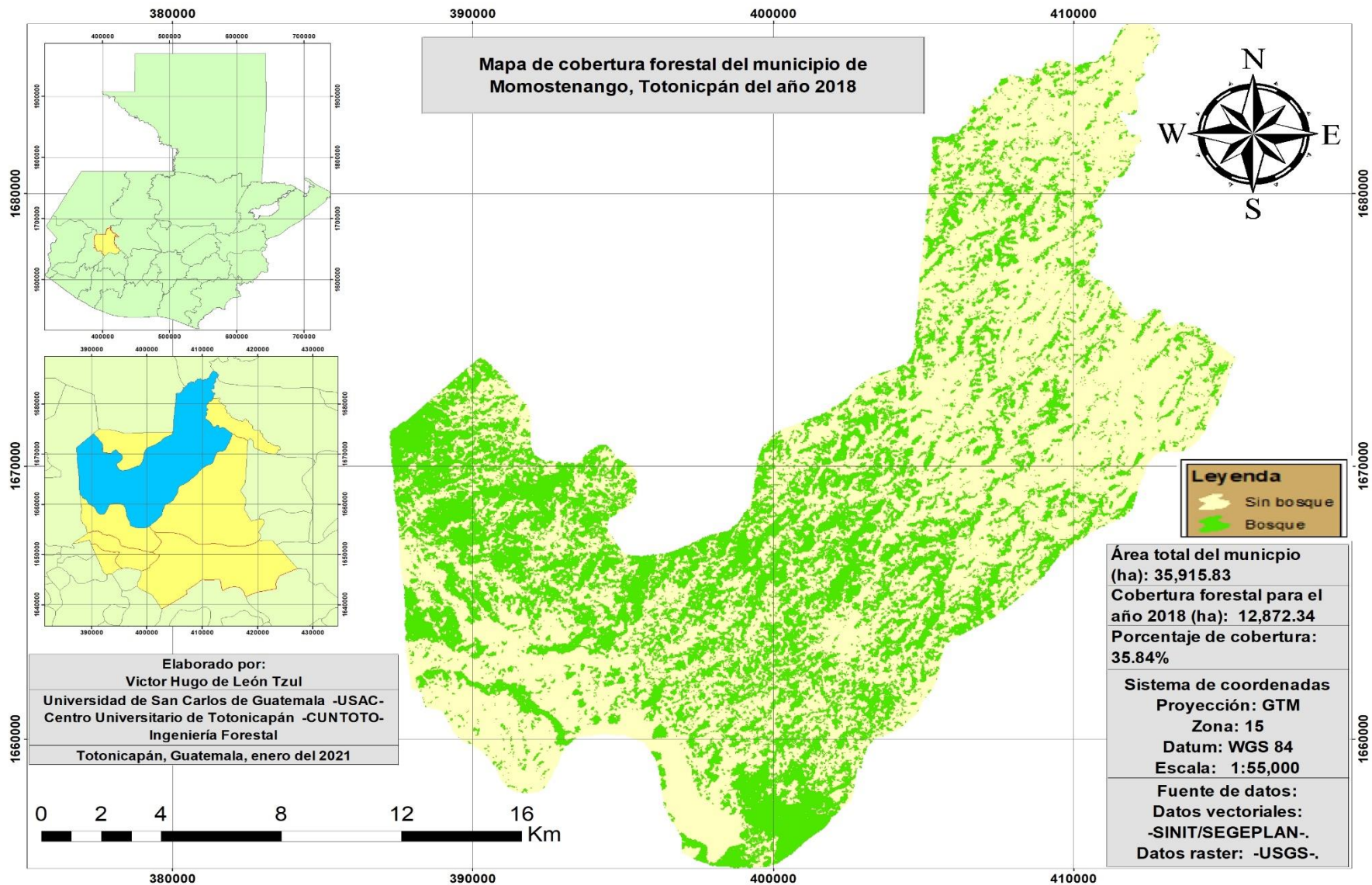


Figura 32. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2018.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2020.

4.1.7. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2019

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2019.

Cuadro estadístico del año 2019					
Categorías	Número de píxeles por categoría	porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	115,474	29.14	103,926,600	10,392.66	103.93
Bosque	142,923	36.06	128,630,700	12,863.07	128.63
Cultivo	57,889	14.61	52,100,100	5,210.01	52.1
Infraestructura y centros de población	61,952	15.63	55,756,800	5,575.68	55.76
Suelo sin cobertura	18,077	4.56	16,269,300	1,626.93	16.27
Valores mínimos	18,077	4.56	16,269,300	1,626.93	16.27
Valores máximos	142,923	36.06	128,630,700	12,863.07	128.63
Media	79,263	20	71,336,700	7,133.67	71.34
Desviación estándar	49,659	12.53	44,693,128	4,469.31	44.69
Suma total	396,315	100.00	356,683,500	35,668.35	356.69

Tabla 23. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2019.

Fuente. Elaboración propia, diciembre del año 2020.

Como se visualiza en los años anteriores de acuerdo al cuadro estadístico la cobertura forestal continúa decreciendo, para el año 2019 se estimó, 12,863.07 hectáreas que muestra la poca cultura silvícola que se tiene en los integrantes del municipio como ya se ha mencionado, la existencia de pequeñas actividades en pro del bienestar ambiental, en algún momento ha logrado contrarrestar la pérdida de cobertura forestal, para este tiempo comprendido entre los años 2018 al 2019 se han perdido de acuerdo a los resultados del estudio un total de -9.27 hectáreas de bosque, esto básicamente tendrá como consecuencia la disminución vital de los servicios ecosistémicos, en la parte baja de Momostenango, del lado norte del municipio es donde existe mayor actividad de deforestación y pérdida del mismo, como se visualiza en los mapas de cubierta forestal que son presentados como resultados del presente estudio.

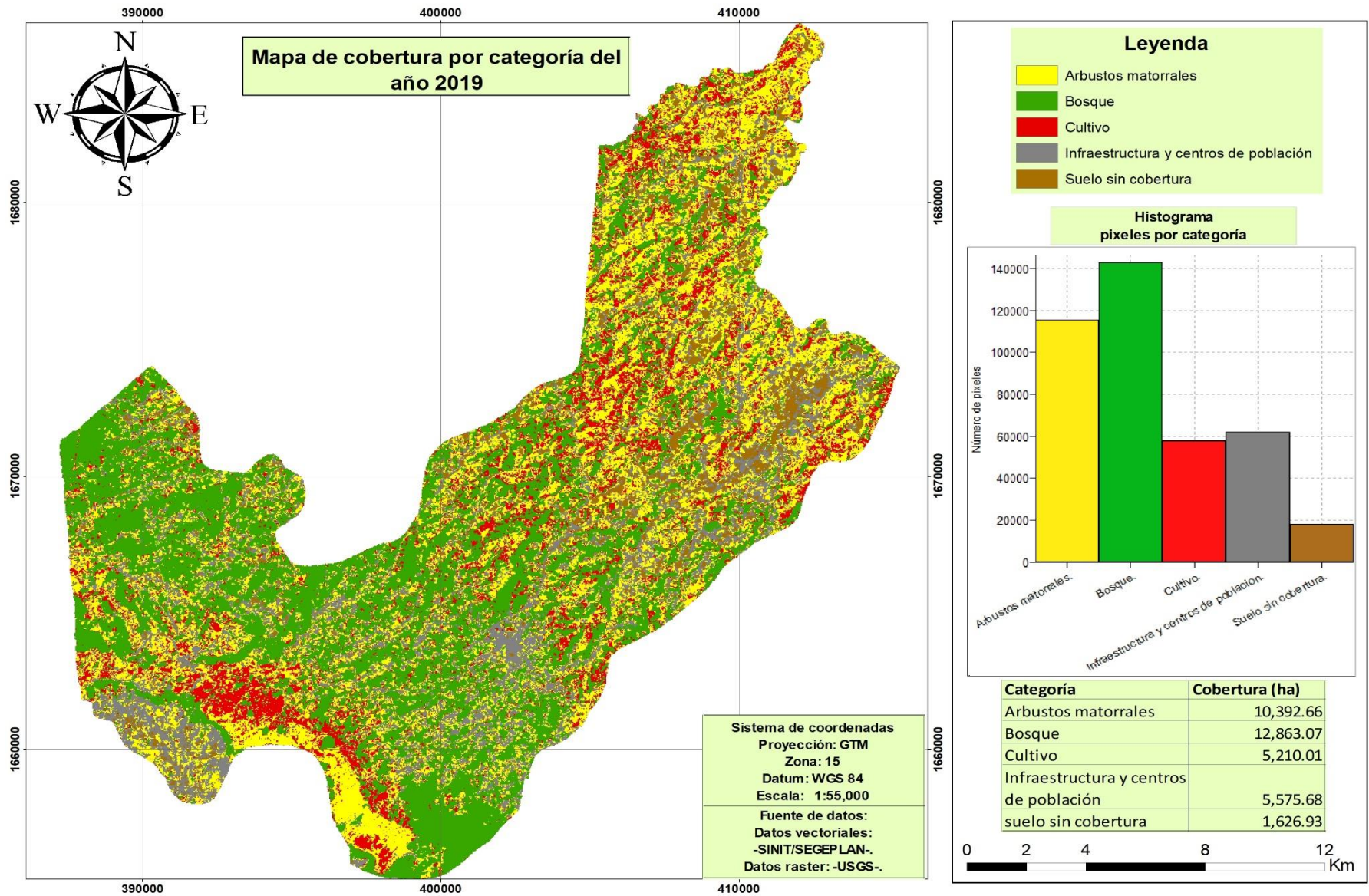


Figura 33. Mapa de cobertura por categoría del año 2019 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, noviembre del 2020.

4.1.7.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2019

Tabla 24. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2019.

Área total del municipio (ha).	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%).
35,915.83	35,668.35	247.48	Arbustos matorrales	28.94
			Bosque	35.81
			Cultivo	14.51
			Infraestructura y centros de población	15.52
			Suelo sin cobertura	4.53
			Área no definida	0.69
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

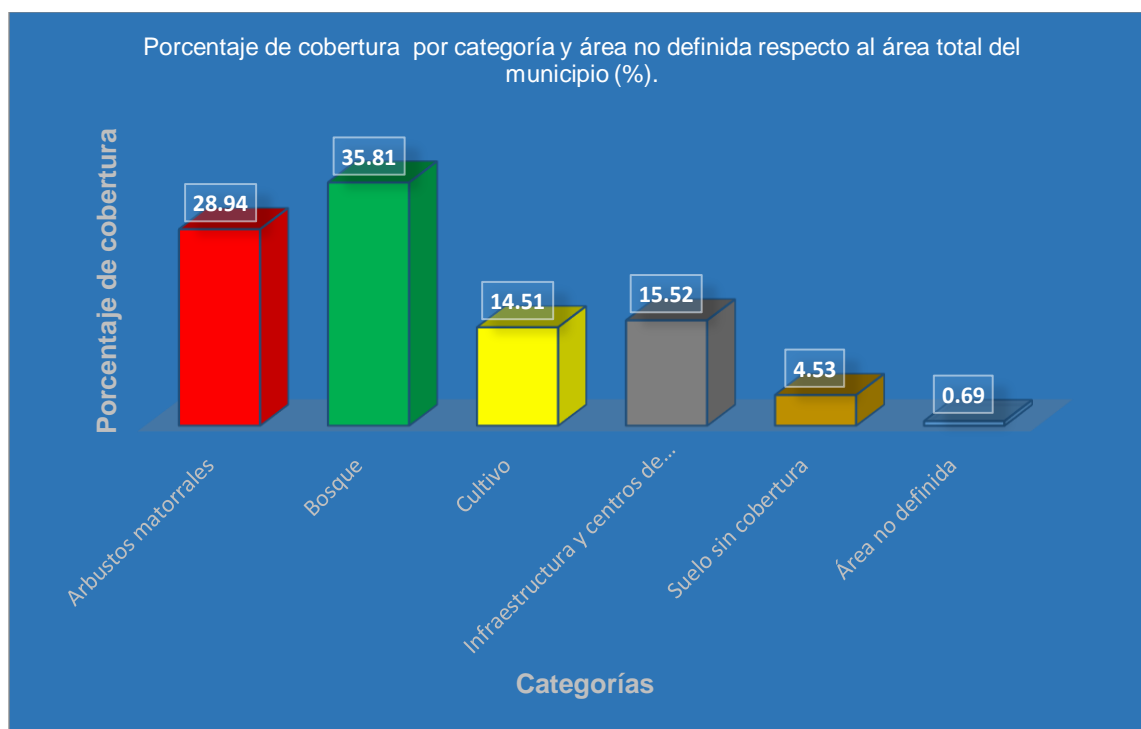


Figura 34. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero año 2020.

Del año 2019 se estimó 12,863.07 hectáreas (ha) de cobertura forestal para el municipio de Momostenango, esto equivale a 128.66 km², lo cual representa el 35.81% de cubierta, entre los años 2018 al 2019 se ha tenido una pérdida de -9.27 ha, en la mayoría de años en que fue enfocado el estudio, generalmente se visualiza que ha disminuido la masa arbórea y se evidencia incremento en las otras categorías que fueron analizadas.

La política forestal de Guatemala se basa en nueve principios que son: oferta de bienes y servicios ambientales para la sociedad, ordenamiento territorial en tierras rurales, sostenibilidad en el uso del recurso forestal, conservación de la biodiversidad, participación equitativa, corresponsabilidad y empresarialidad, competitividad productiva, estabilidad normativa, monitoreo y manejo de información estratégica.

La sostenibilidad del sector agropecuario, forestal e hidrobiológico depende del manejo del suelo, agua y biodiversidad. En este sentido, el sector forestal juega un papel importante en esa sostenibilidad, reconociendo al bosque parte de la biodiversidad y como un regulador de ciclos hidrológicos locales, protector de suelos y generador de otros servicios ambientales, (Girón, 2006).

Existe una dinámica entre incremento y reducción de cubierta en las categorías de cultivo y suelos sin cobertura esto se debe a que en el municipio por su ubicación geográfica comparte microclimas en determinados lugares y esto define el tipo de labranza que los comunitarios han establecido de acuerdo al lugar, todo esto varía en cuanto al reconocimiento de tierras cultivables sin cobertura y viceversa, por ello es que entre el suelo sin bosque y cultivo existe una variación de cubierta relativa como se visualiza en los cuadros estadísticos de cada año, sin duda alguna el monitoreo del estado de la masa arbórea y la cubierta de la tierra es muy importante para garantizar los servicios ecosistémicos vitales a la población y promover una mejor calidad de vida.

Se presenta el mapa de cobertura forestal del municipio para el año 2019.

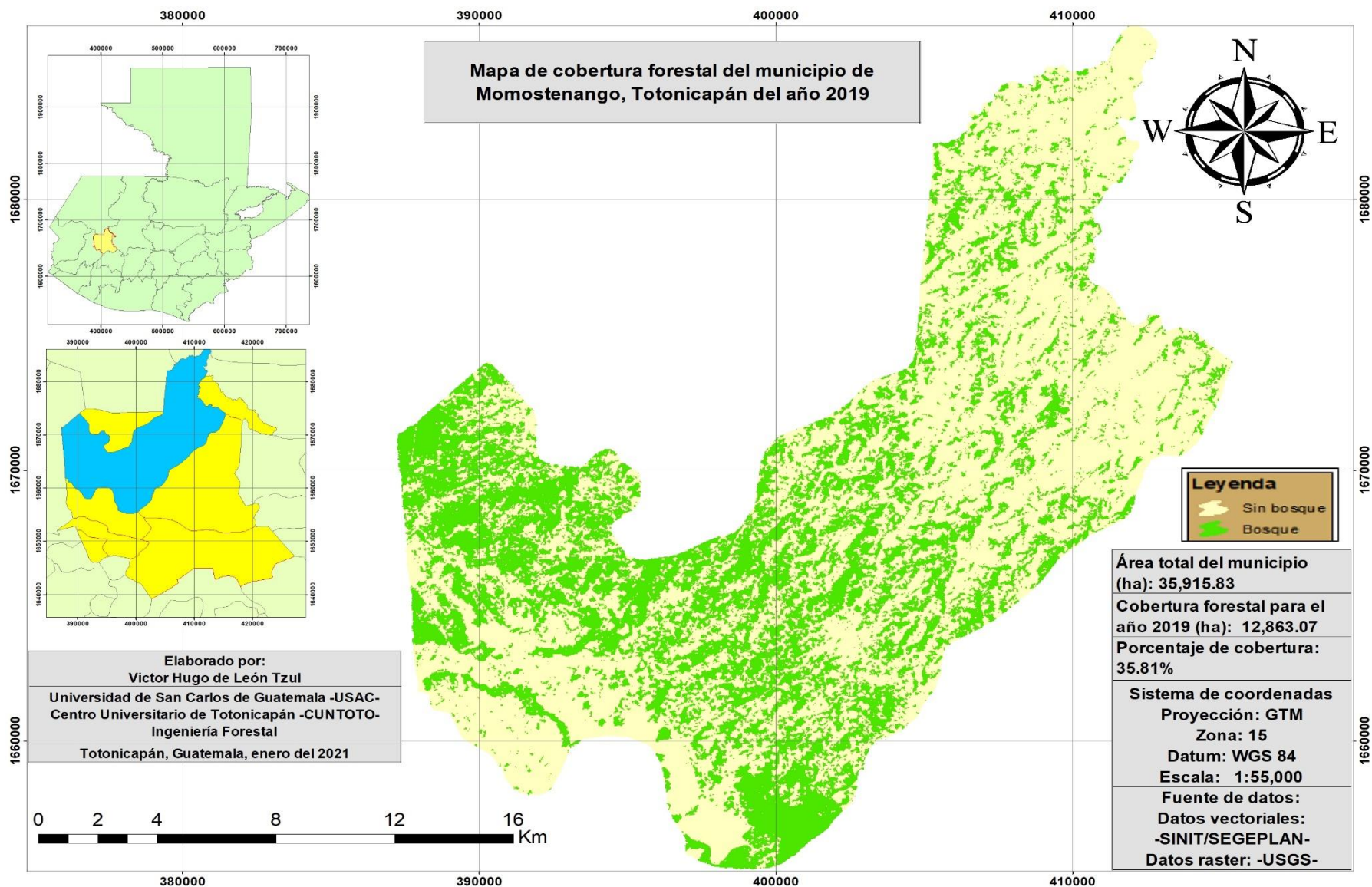


Figura 35. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2019.

Fuente. Elaboración propia, noviembre del 2020.

4.1.8. Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2020

Descripción del área de cobertura estimada para cada categoría del año 2020.

Tabla 25. Área de cobertura por categoría del municipio de Momostenango del año 2020.

Cuadro estadístico del año 2020					
Categorías	Número de píxeles por categoría	porcentaje de píxeles definidos (%)	Área de valor de píxel	Área (ha)	Área (km ²)
Arbustos matorrales	117,466	29.64	105,719,400	10,571.94	105.72
Bosque	142,887	36.06	128,598,300	12,859.83	128.6
Cultivo	53,756	13.57	48,380,400	4,838.04	48.38
Infraestructura y centros de población	62,124	15.68	55,911,600	5,591.16	55.91
Suelo sin cobertura	20,047	5.06	18,042,300	1,804.23	18.04
Valores mínimos	20,047	5.06	18,042,300	1,804.23	18.04
Valores máximos	142,887	36.06	128,598,300	12,859.83	128.6
Media	79,256	20	71,330,400	7,133.04	71.33
Desviación estándar	49,896	12.59	44,906,233	4,490.62	44.91
Suma total	396,280	100.00	356,652,000	35,665.20	356.65

Fuente. Elaboración propia, diciembre del año 2020.

Del año 2020 se estimó un total de 12,859.83 hectáreas (ha) de cobertura forestal para el municipio de Momostenango, con los datos que se presentan en los cuadros estadísticos de cada período se refleja entonces que en la mayoría de años analizados se ha perdido bosques significativamente y en este lapso de tiempo no es la excepción, entre el 2019 al 2020 ha disminuido un total de -3.24 ha, lo mismo ha pasado en los anteriores, esto es preocupante debido a que en ocho años analizados solamente los años 2015 al 2016 es donde se ha registrado un aumento en la masa arbórea, lo cual es de 3.42 hectáreas pero lastimosamente no es significativo ante la pérdida del mismo que se ha estimado y entre cada año analizado.

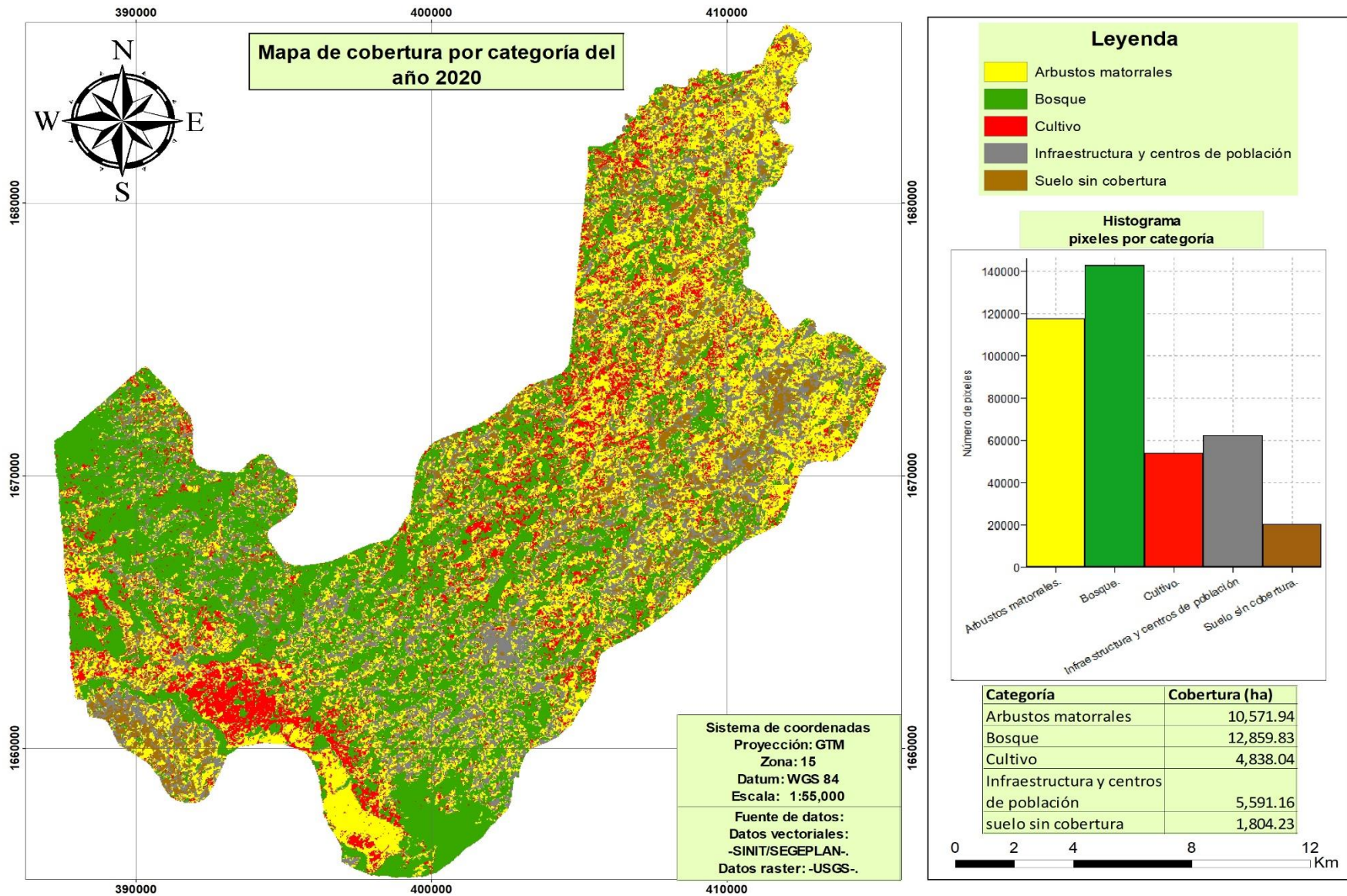


Figura 36. Mapa de cobertura por categoría del año 2020 del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia diciembre del año 2020.

4.1.8.1. Porcentaje de cobertura por categoría del año 2020

Tabla 26. Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida del año 2020.

Área total del municipio (ha)	Área total identificada (ha)	Área no identificada (ha)	Área por categoría (ha)	Porcentaje de cobertura por categoría y área no definida respecto al área total del municipio (%)
35,915.83	35,670.87	244.96	Arbustos matorrales	28.25
			Bosque	35.91
			Cultivo	17.05
			Infraestructura y centros de población	14.13
			Suelo sin cobertura	3.97
			Área no definida	0.68
				100.00

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2020.

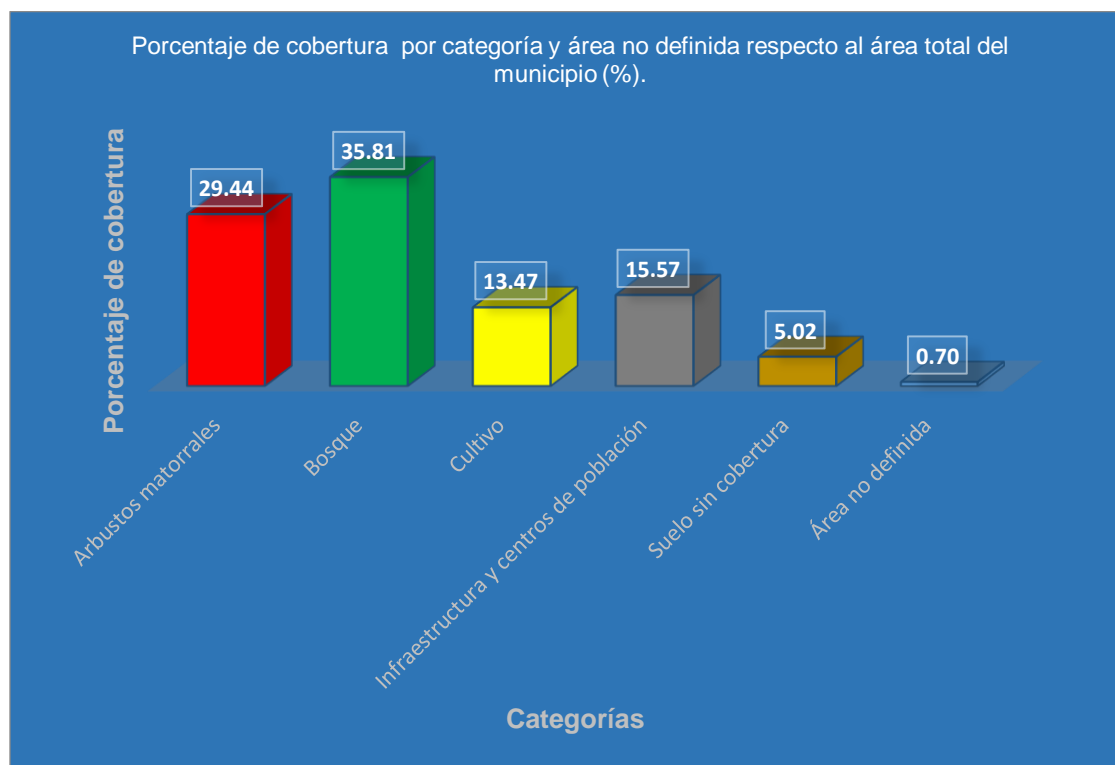


Figura 37. Porcentaje de cobertura por categoría.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2020.

En el año 2020 se estimó un total de 12,859.83 hectáreas (ha) de cobertura forestal esto a su vez equivale a 128.6 km², de bosque lo cual representa el 35.81% de cubierta respecto al área total del municipio de Momostenango, entre este tiempo comprendido en los años 2019 al 2020 se ha calculado una pérdida de -3.24 ha de bosque, esto indica que han disminuido por diversas razones específicamente por actividades antropogénicas que son las que más han contribuido a la degradación de los recursos forestales y ambientales.

Las principales tendencias internacionales del desarrollo forestal se basan en un cambio significativo de las políticas y normas que buscan promover la conservación y el manejo forestal sostenible a todos los tipos de bosque, y que van de la explotación forestal a una visión integral y holística de los ecosistemas forestales. El MFS va estrechamente ligado a los criterios e indicadores, que permiten evaluar el logro de sus objetivos, así como el establecimiento de buenas prácticas. Cada vez, hay un reconocimiento de los ecosistemas forestales como sistemas complejos en los cuales tienen lugar procesos económicos sociales culturales y biológicos, (Girón, 2006).

Partiendo de lo anterior, es muy importante desarrollar estrategias de monitoreo de los bosques y la fauna silvestre debido a que son una fuente vital para la calidad de vida del ser humano, es interesante verificar lo que ocurre con la categoría de infraestructura y centros de población, las coberturas estimadas en cada año, siempre han estado aumentando en el transcurso de los años de tal manera que para el 2020 se estimó un área de 5,591.16 hectáreas y si comparamos los mismos, se visualiza que ha incrementado significativamente, sin embargo es probable que el aumento de esta jerarquía ha contribuido a la reducción de la cubierta forestal y las áreas de cultivo.

Lo mismo pasa con el resto de categorías por ejemplo arbustos matorrales se evidencia un incremento significativo a lo largo de los ocho años analizados, esto se debe a varias áreas de cobertura forestal son invadidos, dándole lugar a un cambio de uso de suelo, adoptan determinados cultivos sin embargo estos suelos no son productivos puesto que son de vocación forestal y las dejan abandonados.

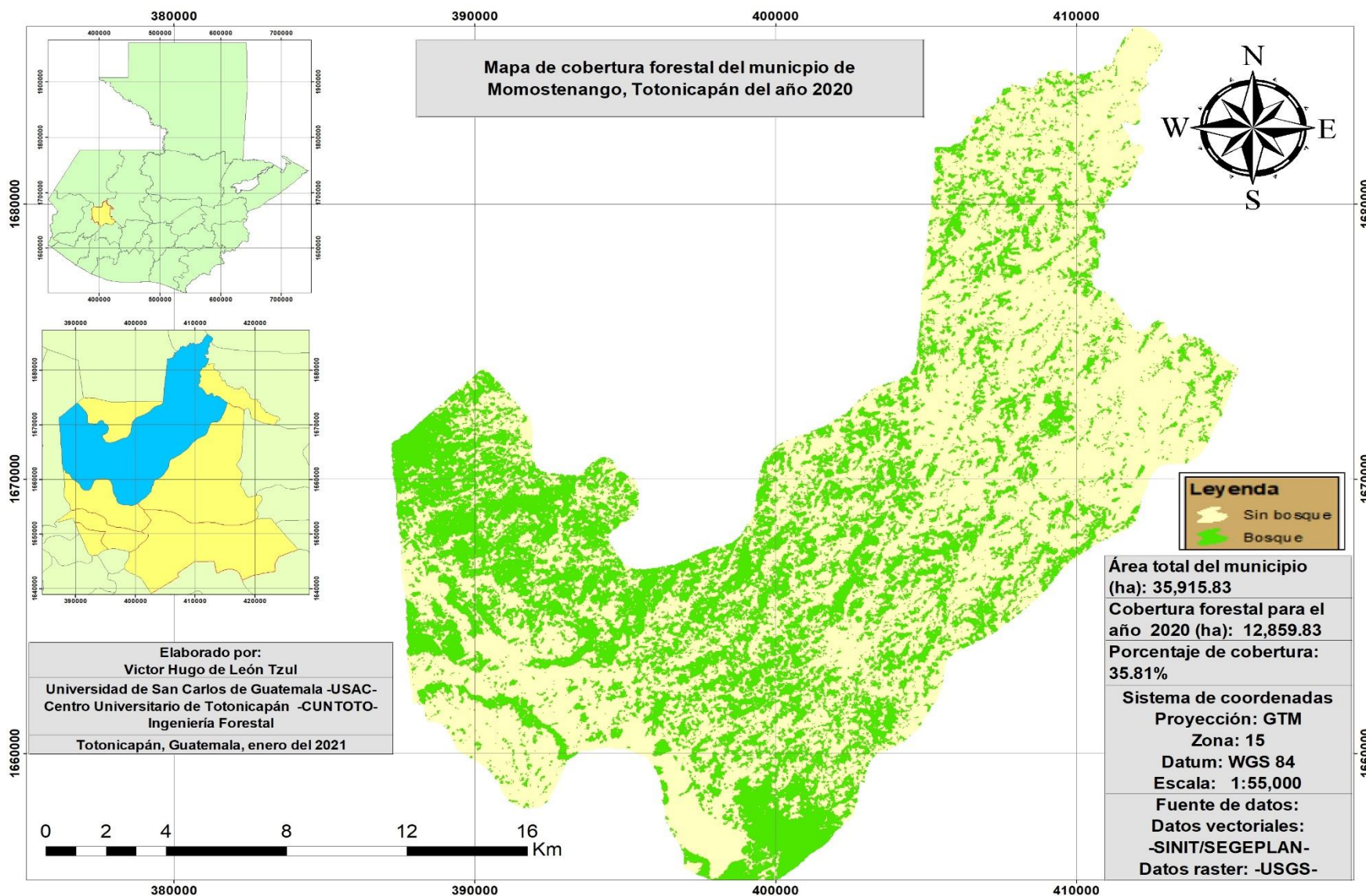


Figura 38: Mapa de cobertura forestal del municipio de Momostenango del año 2020.

Fuente: Elaboración propia, diciembre del año 2020.

Finalmente se presenta la información obtenida para cada año analizado de acuerdo a la clasificación de las categorías.

Tabla 27. Cobertura por categoría para cada año analizado para el municipio de Momostenango.

Categorías	Cobertura por categoría para cada año analizado (ha)							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Arbustos matorrales	10,147.23	10,066.86	9,970.83	9,922.23	10,076.84	10,238.13	10,392.66	10,571.94
Bosque	12,897.00	12,888.45	12,880.17	12,883.59	12,882.61	12,872.34	12,863.07	12,859.83
Cultivo	6,122.52	5,877.81	5,943.69	4,736.34	5,460.73	5,236.74	5,210.01	4,838.04
Infraestructura y centros de población	5,076.63	5,082.84	5,086.44	5,375.16	5,488.13	5,571.90	5,575.68	5,591.16
Suelo sin cobertura	1,427.49	1,746.90	1,794.33	2,754.45	1,765.51	1,746.90	1,626.93	1,804.23

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

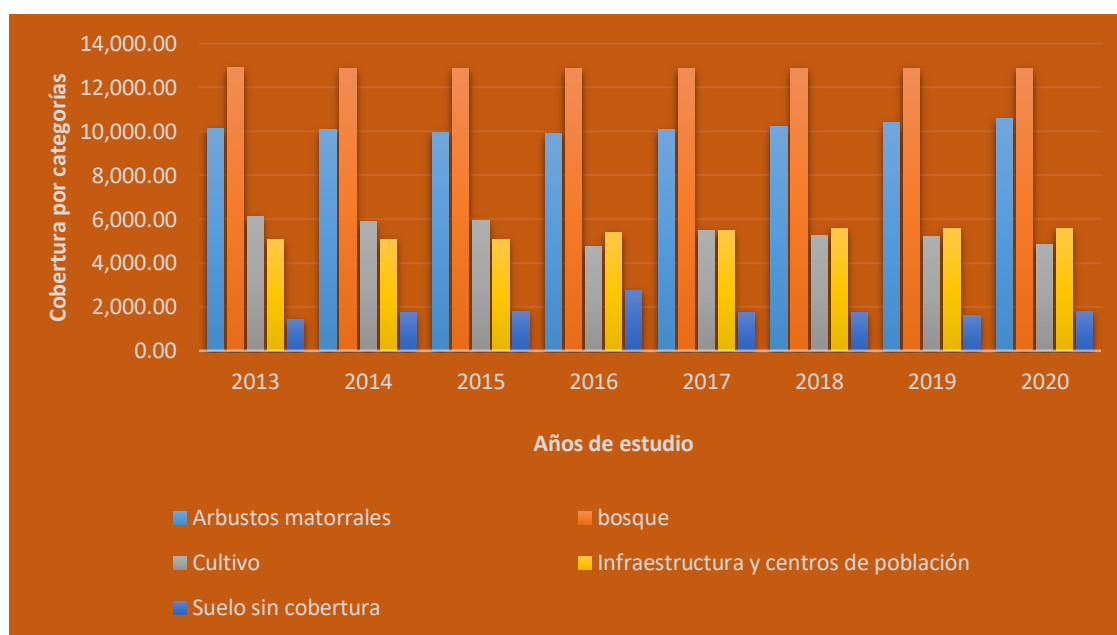


Figura 39. Cobertura por categoría para cada año analizado.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

En la tabla 27 se refleja los cambios que ha habido respecto al incremento y disminución de área por categoría para cada año analizado, lo que permite comprender y es muy evidente la disminución de cobertura que han tenido los bosques en los últimos 8 años.

Tabla 28. Cobertura forestal estimada para cada año del municipio de Momostenango

Cobertura forestal para cada año analizado			
Año de estudio	Cobertura (ha)	cobertura (km ²)	Porcentaje de cobertura (%)
2013	12,897.00	128.97	35.91
2014	12,888.45	128.88	35.89
2015	12,880.17	128.80	35.86
2016	12,883.59	128.84	35.87
2017	12,882.61	128.83	35.87
2018	12,872.34	128.72	35.84
2019	12,863.07	128.63	35.81
2020	12,859.83	128.60	35.80

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

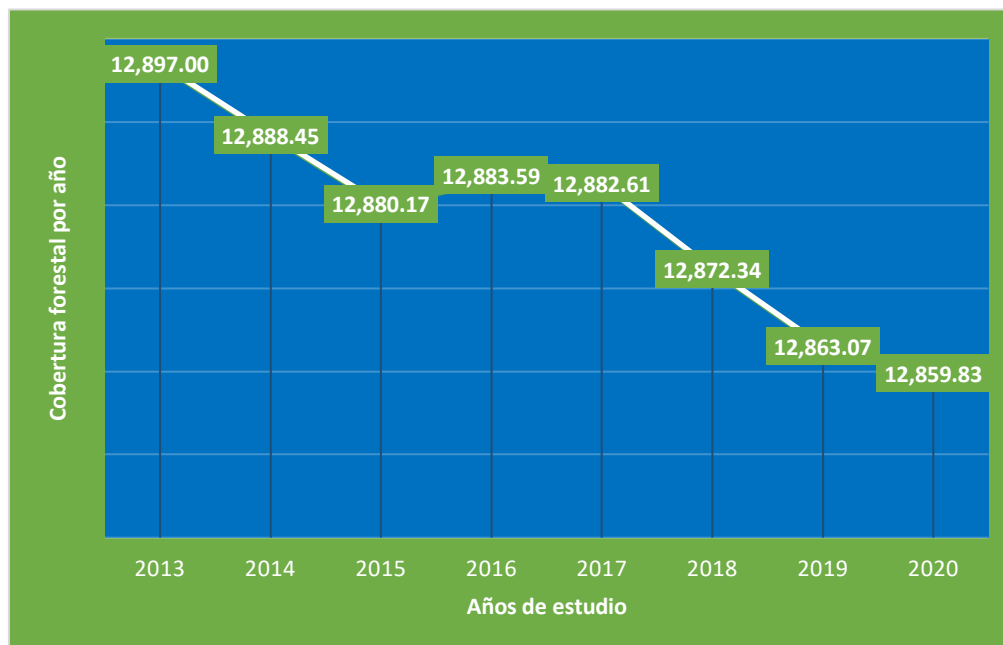


Figura 40. Tendencia de la cobertura forestal estimada en cada año.

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2021.

A través de la tabla 28 se visualiza la cobertura forestal para cada año y el porcentaje de cubierta que este representa respecto al área total del municipio de Momostenango, teniendo de esta manera la tendencia de disminución de bosques partiendo de los años 2013 al 2020.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo del 2013 al 2020, permitió visualizar que en los 8 años consecutivos la cobertura forestal se ha estado perdiendo por varias razones; siendo así el factor principal y el responsable el ser humano por la práctica de varias actividades como la provocación de incendios forestales, tala inmoderada, que amenazan la integridad y la salud de los bosques.

4.1.9. Dinámica de la cobertura forestal

La dinámica de la cobertura forestal para el municipio de Momostenango entre el periodo de los años 2013 al 2020, hubo una pérdida de -40.5 hectáreas de bosque, durante ese mismo tiempo se recuperaron 3.42 hectáreas, teniendo una pérdida neta de cobertura forestal de -37.08 hectáreas de la masa boscosa en esos ocho años.

El promedio de los ocho años que conlleva el estudio está en función de las fechas de las imágenes satelitales utilizadas fue de 6.33 años lo cual representa el periodo promedio de tiempo del estudio realizado, debido a que las imágenes satelitales no son todas de las mismas fechas.

Con el valor del año ponderado se pudo calcular el cambio neto anual y la tasa de deforestación para este periodo de tiempo como se muestra en los cuadros siguientes.

Cambio neto anual
Cambio neto anual (ha/año) = cambio neto (ha) / intervalo ponderado (años)
Cambio neto anual (ha/año) = -37.07/ 6.33 = -5.86

El cambio neto anual se calcula a un -5.86 hectáreas, esto nos permite comprender que entre los años 2013 al 2020 se ha calculado una pérdida anual de -5.86 hectáreas por año, esto demuestra que la deforestación en el municipio siempre ha estado latente, pero representa lo alarmante y preocupante.

El cambio neto anual permitió calcular la tasa de deforestación para el municipio.

Tasa de deforestación
Tasa de deforestación anual = $100 * \text{Cambio neto anual} / \text{Bosque 2013}$
Tasa de deforestación anual = $100 * - 5.86 / 12,897 = -0.05\%$

Se estimó una tasa de deforestación anual de 0.05% a nivel del territorio municipal entre los años 2013 al 2020.

El balance demuestra que se sigue deforestando en todo el municipio teniendo mayor impacto negativo en la parte norte, en términos anuales la pérdida anual bruta asciende a 5.86 hectáreas por año con una tasa de deforestación 0.05% de pérdida anual respecto la cobertura de bosque estimada en el año 2013.

Los resultados reflejan que la cobertura forestal ha sido impactada de manera negativa en el transcurso de los años, además se ha visualizado que el resto de categorías continúan incrementando, mientras que la masa boscosa del municipio continúa en decrecimiento, esto sin duda permite comprender que el actor principal de estos resultados es el ser humano.

4.1.10. Resultados de las entrevistas

La entrevista en profundidad, como técnica generadora de información primaria, presenta la capacidad de ofrecer el contraste cualitativo a los resultados obtenidos a través de procedimientos cuantitativos. Asimismo, favorece la comprensión de temas debido al contacto directo con personas conocedoras del contexto, capaces de enriquecer, corroborar o refutar verídicos argumentos planteados durante el análisis documental.

Con esta técnica se ha recabado información acerca de las actividades antropogénicas que influyen en la degradación de los bosques.

Para el desarrollo de esta técnica se realizaron 30 entrevistas abiertas dirigidas a pobladores. Las conversaciones fueron desarrolladas dentro de un marco y un contexto social basados en zonas pobladas indicadas por los puntos de control en el municipio

de Momostenango, de tal forma que se ha precisado la figura de un entrevistador (tesisista) y de un entrevistado (informante que aporta la información requerida).

Una vez recogida la información a través esta técnica, se realizó un análisis del discurso debido a que las preguntas fueron abiertas y de contenido, con objeto de identificar unidades de sentido detallando los argumentos que respondían a los objetivos de la investigación, así como aquellos que confirmaban, avalan y enriquecen los resultados del estudio, a continuación, se presenta el resultado de las entrevistas realizadas.

4.1.10.1. ¿La comunidad posee bosque comunitario?

De acuerdo con los 30 pobladores entrevistados, manifestaron que en su mayoría los bosques no son de tenencia comunal, más bien son propietarios particulares que conforman al grupo de los minifundistas del territorio municipal, que por sus necesidades cotidianas hacen uso de los servicios derivados del bosque. Estas manifestaciones se reflejan en áreas donde los suelos del municipio son pobres en cuanto a cubierta arbórea. Mientras que existe una minoría que posee grandes extensiones de cobertura forestal la cual se abastecen de diversas especies forestales, siendo ellas:

Tabla 29. Especies predominando del municipio de Momostenango

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Pino blanco	<i>Pinus ayacahuite</i>	Pinaceae
2	Pino colorado	<i>Pinus oocarpa</i>	Pinaceae
3	Ciprés común	<i>Cupressus lusitanica</i>	Pinaceae
4	Encino	<i>Quercus spp.</i>	Fagaceae
5	Canac	<i>Chiranthodendron pentadactylon.</i>	<u>Malvaceae</u>

Fuente. Elaboración propia, febrero de 2021.

Los centros poblados del municipio de Momostenango presentan un escenario similar, siendo uno de los principales problemas de origen socio natural la tala inmoderada e incontrolada en los bosques que se lleva a cabo en todas las áreas

rurales del territorio municipal y parte del centro urbano, en su mayoría la población utilizan los recursos forestales como energético, además es utilizada la madera para construcción de techos de vivienda y corrales de animales la cual no es comprada sino que existen personas especializadas en catalogar, cortar los árboles, extraer tendales y tablonos con motosierra, (García A. C., Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión en el municipio de Momostenango, Totonicapán, 2007).

Los entrevistados mencionan que existe tala y extracción ilegal de madera y no es controlada por ninguna institución debido a la centralización de las mismas en la cabecera departamental lo cual afecta por la poca atención al problema, de los pocos lugares con áreas comunales de bosques se encuentra la parcialidad Vicentes que se localiza en San Vicente Buenabaj, Momostenango.

4.1.10.2. ¿Los integrantes de la comunidad desarrollan actividades sobre extracción de leña, madera, ocoteo u otro tipo de actividad que ha afectado a la degradación de los bosques?

Con base en la respuesta de los comunitarios en su mayoría se ven en la necesidad de utilizar leña para la cocción de alimentos, también es utilizado como una fuente de ingreso, vendiendo el mismo de forma ilegal debido a que las comunidades rurales se ubican en lugares lejanos, de igual manera, madera para construcción de viviendas, obtención de productos forestales no maderables. Entre las que están, el ocoteo que lo realizan constantemente, en todo el año, y la resinación de árboles en especie de pino colorado (*Pinus oocarpa*), que es la materia prima para la fabricación de POM (Trituración de corteza de pino y resina), que es vendido en diferentes candelillos del municipio, los pobladores la utilizan para el agradecimiento a la parte cósmica y espiritual, otro grupo se ve inclinado al avance de la frontera agrícola.

En el municipio de Momostenango se pierden grandes cantidades de especies arbóreas que no soportan el tratamiento de extracción de resina para la elaboración del POM material oloroso que se quema en los rituales religiosos mayas, lo cual hace que se sequen los árboles rápidamente, además de los mismos se extrae el OCOTE como

iniciador de la incineración de la madera, (García A. C., Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas Y propuestas de inversión en el municipio de Momostenango , 2007).

Se puede indicar que los pobladores en su mayoría utilizan los productos derivados del bosque ya sea comunitarios o particulares en el municipio de Momostenango.

4.1.10.3. ¿Los bosques de su comunidad han sido afectados por los incendios forestales?

De acuerdo con las entrevistas realizadas, los pobladores indicaron que actualmente los bosques del municipio de Momostenango se ven afectados por la presencia de incendios provocados por personas ya sea de tipo rastrero, superficial y copas lo cual es producto por la falta de conciencia ambiental, eso indica que se está perdiendo grandes extensiones de masa boscosa y que al final del camino las instituciones nacionales y ONGs apenas contribuyen con las plantaciones que en su mayoría son plántulas producidas en el vivero municipal.

El riesgo de incendios forestales en el Municipio de Momostenango se incrementa al momento de no existir un servicio de extracción de basura debido a que las personas la queman en áreas muy cercanas a los bosques, lo cual ha provocado que la cubierta arbórea se consuma por el fuego aunque no de grandes proporciones, pero por estos factores se han perdido considerables extensiones de bosque, otro factor que incide, es la preparación de los terrenos para las cosechas con las rozas, ya que esta actividad ha hecho que se pierda buena cantidad de masa boscosa porque no se aplican las técnicas adecuadas para la quema, (Hernández, 2009).

Finalmente, en el municipio de Momostenango en los últimos años se han registrado varios incendios forestales en la época seca, y de acuerdo con las respuestas de las entrevistas, reflejan que la mayoría de problemas de incendio forestal que se han registrado en el territorio municipal han sido provocados por las malas prácticas de quema de rosas.

4.1.10.4. ¿Considera usted que se ha degradado significativamente los bosques de su comunidad?

Las respuestas de los pobladores entrevistados refleja que en los últimos 10 años los bosques del municipio han sufrido cambios significativos puestos al incremento de tala inmoderada de las especies arbóreas para fines energéticos o para fuente de ingresos, ante a los altos índices de pobreza una gran parte de la población del área rural ha comenzado a dedicarse a la corta irracional de árboles para la venta de leña y madera de manera ilícita lo cual ha dado como resultado problemas de erosión hídrica y eólica de los suelos perdiendo las fertilidades y reduciendo el nivel de infiltración del caudal de agua para consumo familiar en tiempos de época seca, siendo así los principales afectados las familias del casco urbano y comunitarios.

Actualmente, se vienen degradando los suelos, por muchas de las actividades antropogénicas, resumidas en malas prácticas agrícolas, utilización de tierras de alto porcentaje de pendiente para otros objetivos no forestales o habitacional por ello cada vez se refleja más pérdida de áreas fértiles. Existe conflicto en el uso correcto de la tierra, por el crecimiento urbano y agrícola de manera desordenada, en ocasiones sobre utilizando el recurso suelo, porque no hay una herramienta de planificación por parte de la municipalidad, para que se impulsen acciones de desarrollo de forma sostenida, (PDM-Momostenango, 2010).

Los problemas como la escasez de agua, pérdida de suelos, flora y fauna son el resultado de los cambios negativos que han tenido los bosques del territorio municipal en los últimos años.

4.1.10.5. ¿El crecimiento demográfico y el cambio de usos del suelo ha afectado a la disminución de los bosques?

La población entrevistada hace referencia que el crecimiento demográfico ha sido significativo en el casco urbano y rural lo cual ha provocado ocupar áreas de cultivo para viviendas, esto ha causado que la frontera agrícola siga avanzando a suelos de vocación forestal reflejándose de esta manera en la pérdida de la cubierta arbórea, parte de ello es la poca educación que las personas tienen sobre actividades silvícolas, de la misma forma ha afectado a la disminución del agua para consumo humano que es uno los servicios vitales que los bosques brindan al municipio.

En el municipio de Momostenango existen áreas vulnerables a deslaves, sequía y altos riesgos de incendios forestales, debido a una sobre explotación de los bosques para la extracción de leña y resina. El peligro de los pobladores se debe a que las viviendas están construidas en terrenos inclinados o a escasos metros de zonas boscosas y a orillas de corrientes de agua. Por otra parte, en la ubicación de algunas comunidades, la escasez de recurso hídrico les afecta de manera significativa en época seca. Estas vulnerabilidades ponen en riesgo a la población, (López & Hernández, 2016).

Esto evidencia que realmente los problemas sociales del territorio municipal como la pobreza, el desempleo, la poca educación en la niñez, el crecimiento poblacional son las que han impulsado a los integrantes del municipio a tomar los recursos forestales para una fuente de ingresos o en su efecto las tierras de vocación forestal la han utilizado para otros fines no adecuados.

4.1.10.6. ¿Qué servicios ecosistémicos brindan los bosques a las familias de su comunidad?

De acuerdo con la población entrevistada, enfatiza 4 servicios vitales que los bosques brindan hacia el municipio y comunidades circunvecinas, siendo las siguientes: Nacimientos de agua para consumo humano, Leña para la cocción de alimentos, suelos fértiles para la agricultura y productos forestales no maderables (medicamentos

naturales, semillas, resina y ocote), sin embargo como se ha mencionado en las preguntas anteriores las actuaciones negativas de los pobladores han afectado a la degradación de la cubierta arbórea, por lo que esta no ha sido sustentable.

El municipio de Momostenango cuenta con varios tipos de bosques como: bosque montano, bajo subtropical muy húmedo, bosque húmedo montano bajo subtropical, bosque húmedo montano bajo, bosque montano bajo tropical muy húmedo, por ello existe gran cantidad de ríos de diferentes tamaños, y entre los más importantes el Pologuá, Paúl y otros de menor importancia como: Anonal, Barranca grande, Cajulá, Caquim, Cuxcubel, Chinabaj, Combej, Chonima, Chorro de agua, Chuxola, Hondo, Huitancito, Ichij, Los cipreses, Manimatacaj, Maquicha, Momosteco, Moxol, Nicajá, Nictacaj, Paclecan, Pacoc, Pacutz, Pachaquiejbeya, Pajá, Palá, Palá grande, Pampac, Pamumus, (García A. C., Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas Y propuestas de inversión en el municipio de Momostenango , 2007).

Finalmente se evidencia con base en las respuestas de los pobladores entrevistados que los bosques de Momostenango han sufrido cambios significativos en los últimos años por varios factores que ya fueron vistos en cada pregunta realizada. Teniendo como resultado la disminución de los servicios ecosistémicos, principalmente la escasez de agua en la zona urbana y rural del municipio, sin embargo, siguen avanzando con las talas ilícitas y la degradación de cubierta boscosa. Los resultados de las entrevistas se ven reflejados en los datos generados a través del procesamiento de imágenes satelitales lo cual se nota en el comportamiento de la dinámica de la masa arbórea y aumento de cobertura en otras categorías siendo la de infraestructura y centros de población, por lo que es de suma importancia inculcar una educación con enfoque silvicultural para felicitarles las distintas comunidades opciones de aprovechamiento sostenible de los recursos del bosque.

4.2. Comprobación de hipótesis

➤ Hipótesis Nula

La cobertura forestal no ha sido afectada por el cambio de uso de suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

➤ Hipótesis alternativa

La cobertura forestal ha sido afectada por el cambio de uso del suelo y actividades antropogénicas en el municipio de Momostenango, Totonicapán.

4.2.1. Variables

Variable independiente

➤ Dinámica de la cobertura forestal indicadores:

- Tasas de cambio de la cobertura forestal. subindicadores
 - ❖ Hectáreas por categoría en estudio por año
 - ❖ Años de estudio

Indicadores:

- Cambio neto anual de cobertura forestal

Subindicadores:

- ❖ Área con cobertura forestal (ha)
- ❖ Tasa de deforestación anual

Variables dependientes

➤ Actividades de la población de Momostenango que afectan a la degradación de sus bosques.

Indicadores:

- Crecimiento demográfico

Subindicadores

- ❖ Incremento de cobertura de las categorías en estudio
- ❖ Disminución de cobertura de las categorías en estudio

Indicadores:

- Deforestación
 - Subindicadores
 - ❖ Avance de la frontera agrícola
 - ❖ Ocoteo y extracción de resina

Para rechazar o aprobar la hipótesis nula o la hipótesis alterna se tomó en cuenta los datos obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales por años los cuales reflejan el incremento y disminución de cobertura en las categorías de estudio estos como resultado de actividades antropogénicas que han afectado significativamente la pérdida de cobertura forestal y al cambio de uso de suelo.

Criterio de comprobación de hipótesis

➤ **Nivel de significancia**

Para la presente investigación se contempló un nivel de significancia del 0.05 equivalente al 5% lo cual es el porcentaje de error que se desea correr para el presente estudio.

➤ **Metodología de prueba de Tukey para la comprobación de hipótesis**

La prueba de Tukey es utilizada en investigaciones o experimentos de enfoque cuantitativo en la que implica un número elevado de comparaciones lo que sirve para elevar las afirmaciones con respecto a la distribución de valores de una población.

Fórmula de la prueba de Tukey

$$w = q * \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Dónde:

-q = es un valor que se obtiene de una tabla (De Tukey), de manera parecida a la tabla de F.

-Solamente existen tablas para niveles de significancia del 5% y del 1%.

-El término que está dentro de la raíz cuadrada se llama error estándar de la media y es igual al cuadrado medio del error (obtenido en el ANDEVA), dividido entre el número de repeticiones.

4.2.2. Hipótesis alternativa aceptada

De acuerdo a los datos obtenidos sobre la investigación entre los años analizados a partir de los años 2013 al 2020, los cuadros estadísticos por años y de las variables del estudio se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 30. Análisis de varianza para la prueba de hipótesis.

ANOVA								
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Entre grupos	611227461	4	152806865.4	1456.91605	2.2092E-38	0.99403002	13.4949808	0.99317833
Dentro de grupos	3670932.37	35	104883.7819					
Total	614898394	39	15766625.48					

Fuente: elaboración propia, febrero del año 2021.

Se pudo comprobar que el valor de p value es menor que 0.05 (nivel de significancia) y con base en la prueba de Tukey, indica que la regla de decisión define si el alfa que es 0.05 es mayor que el p value existen diferencias significativas entre cada uno de las muestras lo que refiere a la cobertura forestal entre cada año analizado, en este caso se acepta la hipótesis alternativa y se niega la hipótesis nula.

Es decir que de acuerdo con los cuadros estadísticos estimados por año reflejan incrementos en las categorías de: infraestructura y centros de población, cultivo y arbustos matorrales por lo que esto ha influido en la disminución de cobertura de los bosques, estimándose así un cambio neto anual de 5.86 hectáreas de pérdida de bosque por año con una tasa de deforestación de 0.05% anual.

4.3. Discusión de resultados

El estudio realizado sobre la dinámica de la cobertura forestal como herramienta de análisis de las tasas de cambio del periodo 2013 al 2020 para el municipio de Momostenango, enfatiza 5 categorías de enfoque los cuales son: arbustos matorrales, bosque, cultivo, infraestructura-centros de población y suelos desnudos, lo que determinó la cubierta de cada jerarquía e identificar los factores que han contribuido a la degradación de los bosques.

Por tanto, los resultados demuestran y responden a los objetivos planteados, puesto a que se estimaron incrementos y pérdida de cobertura de manera significativa en las 5 categorías analizadas, sin embargo, en el análisis de cada cuadro estadístico se resalta los cambios que han tenido los bosques del municipio debido al enfoque del estudio.

Para el año 2013, se estimó un total de 12,897.00 ha de cobertura forestal para el municipio de Momostenango, a la vez en el transcurso de los años hasta el 2020 se identificó 12,859.83 ha, la villa ha tenido una pérdida en este tiempo de 40.5 ha esto se debe específicamente a factores o actividades humanas que han contribuido a la degradación de los bosques, sin duda alguna también existen iniciativas gubernamentales y no gubernamentales que promueven acciones que enfatizan contrarrestar la tala de árboles en el territorio, por ello en el mismo período se evaluó una ganancia de 3.42 ha de masa arbórea teniendo así una disminución neta entre el 2013 al 2020 de 37.08 ha.

Además se presentan los principales factores que han contribuido a la degradación de los bosques y que fueron identificados a través de entrevistas dirigidas a pobladores del municipio, de acuerdo con esto se resalta lo que es el crecimiento demográfico, reflejándose en el cambio de cobertura que tuvo una de las categorías analizadas que es la infraestructura y centros de población, por otro lado, si nos enfocamos en este caso en el 2013 se estimó una cubierta de 5,076.63 ha y para el año 2020 se incrementó a 5,591.16 hectáreas, donde se evidencia claramente que es uno de las causas de la disminución de cubierta arbórea.

Es oportuno mencionar que en el municipio Momostenango se han registrado varios incendios forestales en diferentes puntos y que sin duda alguna han afectado a la reducción de la masa arbórea, esto se debe a que en su mayoría el tipo de bosque dominante es la de coníferas y por el comportamiento fisiológico de los árboles permite fácilmente la acumulación de combustible lo cual deja vulnerable a un incendio forestal, estas pueden tomarse de cierta manera como un proceso de pérdida y recuperación debido a que en algunos lugares han permitido la regeneración natural, es decir el resurgimiento de nuevos individuos, por lo que han perjudicado a los bosques del territorio, pero también han estimulado el crecimiento de nuevas especies.

En los años 2015 y 2016 han sido el único período en el que se estima una recuperación de 3.42 ha de cubierta arbórea, esto refleja la poca cultura silvícola que se practica en el municipio a pesar de la existencia de un vivero municipal en el que se producen un aproximado de 15 mil árboles anuales, no se ha logrado contrarrestar significativamente la destrucción de las masas boscosas tanto así que entre el 2017 al 2018, es el tiempo en el que mayor cobertura de bosque se ha perdido con una cantidad de 10.27 ha.

Finalmente, después de los resultados obtenidos se calculó el cambio neto anual y la tasa deforestación para este período de estudio, fue necesario considerar exactamente las fechas de las imágenes utilizadas para el cálculo del año ponderado, claro está que el mismo fue enfatizado entre el 2013 al 2020 lo cual suman 8 años, sin embargo hay que tomar en cuenta que la información satelital no son todos de los mismos tiempos, por ello se vio en la necesidad de ponderar la cantidad de meses en cada fecha de imagen, se obtuvo un total de 76, se dividió dentro de 12 representando el número de meses que tiene el año dando como resultado 6.33, esto representa el año ponderado respectivamente. Por otro lado las fotografías adjuntadas al apéndice tomadas en función a los puntos de control visitados se visualizan básicamente partes de las zonas de cubierta forestal identificadas en el procesamiento de imágenes satelitales, centros de población, suelos pobres sin cobertura, áreas de cultivo y como también se reflejan fotografías capturadas en la parte norte del municipio lo cual evidencia las actividades del ocoteo y extracción de leña que continúan amenazando la integridad de los bosques.

Conclusiones

- La dinámica de cobertura forestal en los años 2013 al 2020 para el municipio de Momostenango analizados fueron: en el 2013 se evaluó la cantidad de 12,897 ha que refleja un 35.91%, 2014 fue de 12,888.45 ha que representan el 35.89%, 2015 de 12,883.59 ha que proporcionan un 35.87%, 2017 fue de 12,882.61 ha que abarcan el 35.87%, 2018 de 12,872.34 ha que contienen el 35.84%, 2019 con bosques haciendo 12,863.07 ha que conforman el 35.81% y año 2020 fue de 12,859.83 ha que componen el 35.80%, todos los datos fueron integrados en mapas temáticos representando las cinco categorías donde se visualiza la tendencia de los árboles en el período de tiempo ha venido disminuyendo significativamente.
- La cobertura forestal estimada para el territorio municipal de Momostenango en el año 2020 fue de 12,859.83 hectáreas, que representa el 35.80% de cubierta del área total de la villa, a su vez equivale a 128.6 km², de masa arbórea, entre este periodo comprendido en los años 2019 al 2020 se ha calculado una pérdida de -3.24 ha de bosque, esto indica que han disminuido por diversas razones específicamente por actividades antropogénicas que son las que más han contribuido a la degradación de los recursos forestales y ambientales.
- Para el municipio de Momostenango se tuvo una tasa de cambio de cobertura boscosa en el periodo de 2013 al 2020, hubo cambios drásticos de -40.5 ha de árboles, durante ese mismo tiempo se recuperaron 3.42 ha, teniendo una disminución neta de cubierta forestal de -37.08 ha de masa arbórea con un valor neto anual de -5.86 ha, esto permite comprender que entre los 8 años analizados se ha calculado una pérdida de -5.86 ha respectivamente.

- Los resultados de las entrevistas realizadas determinan cinco factores principales que han afectado a la disminución de los bosques del territorio de Momostenango, siendo los siguientes: tala inmoderada de árboles para fines de leña y madera, extracción de resina, avance de la frontera agrícola, incendios forestales y el crecimiento demográfico, estos son reflejados como consecuencias de las pocas oportunidades laborales, alto nivel de pobreza y poca educación silvícola que existe en el municipio lo que permite a las personas que utilicen los recursos naturales para otorgarle una fuente de ingresos de una manera no sustentable.

Recomendaciones

Luego de analizar los resultados obtenidos de la investigación, es fundamental realizar algunas recomendaciones desde el enfoque del cuidado de los bosques contribuyendo de esta manera a proponer acciones que contrarresten la degradación de la cubierta boscosa del municipio de Momostenango.

- Se recomienda incrementar la cantidad de producción de árboles en especies de ***Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus*, *Cupressus lusitanica*, *Quercus sp*, *Alnus jorullensis*** en el vivero municipal para poder abarcar reforestaciones mayores a los que ya se han trabajado a través de la UGAM, Momostenango, de esta manera se restaurarán áreas degradadas, reducir el cambio neto anual de la masa arbórea, la tasa de deforestación y como parte de sus funciones la sensibilización del uso de adecuado de los recursos forestales maderables y no maderables por medio del extensionismo forestal.
- De acuerdo a lo verificado en campo a través de los puntos de control se visualizó que la mayor parte de la masa arbórea del municipio son de área para conservación por lo que es de suma importancia socializar el tema de los incentivos forestales que promueve el Instituto Nacional Bosques (INAB) accediendo a la ley PINPEP y PROBOSQUE, porque si la cubierta forestal tanto particulares como comunales son ingresados a los programas ambientales contribuirá a generar ingresos económicos en las familias reduciendo la presión negativa sobre la cobertura de los árboles.
- Promover la legalidad del aprovechamiento y manejo adecuado de los recursos forestales maderables y no maderables con fines comerciales a través del INAB, contribuirá al fortalecimiento de los negocios basados en productos del bosque existentes en el municipio, la sostenibilidad de masa arbórea y ambientales, esto permitirá reducir la tasa de deforestación sobre los bosques del territorio estimado en el periodo del 2013 al 2020.

- Capacitar a grupos comunitarios a través de la Unidad de Gestión Ambiental sobre métodos y técnicas para la prevención y control de los incendios forestales, porque la municipalidad no cuenta con una brigada de bomberos forestales, además de ello implementar prácticas silvícolas como raleos, podas donde se involucre a los pobladores con el objeto de promover la sostenibilidad de los bosques del municipio y garantizar un manejo forestal que dé realce a los servicios ecosistémicos vitales para todo el territorio.

Referencias bibliográficas

- Bermúdez, E. P. (2015). *Análisi multitemporal de los cambios de cobertura boscosa de la zona pacífico norte de departamento del Chocó, 1990 - 2014*. Colombia .
- Castañeda, D., Montoya, R., & Escobar, C. (enero de 2006). *2006 Prototipo de un sistema integrado digital para la clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera*. Obtenido de Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472006000100007
- Castañeda, J. C. (2013). *Dinámica de la cobertura forestal de las microcuencas de los ríos tributarios de la hidroeléctrica Palo Viejo, ubicado en los municipios de San Juan Cotzal y San Miguel Uspantán del departamento del Quiché, Guatemala*. Revista 26 de la Universidad del Valle de Guatemala, 50.
- Chour, B. H. (2008). *Análisis del cambio de la cobertura de bosque en las reservas del departamento de Izabal*. Guatemala .
- CONAP,WCS, FIPA/AID. (2015). *Estimaciones de la deforestación en la reserva de la biosfera maya, período 2000 - 2013*. Guatemala .
- Dix, M., Fortín, I., Medinilla, O., & Rios, L. E. (2003). *Diagnóstico ecológico social en la cuenca de Atitlán, Universidad del Valle de Guatemala/ The National Conservancy*. Guatemala .
- Elias, S., Larson, A., & Mendoza, J. (2009). *Tendencias de la tierra, bosques y medios de vida en el Altiplano occidental de Guatemala*. Guatemala: Serviprensa/ciencias sociales.
- FAO, Guatemala. (Septiembre de 2015). *Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/j3029s/j3029s08.htm#TopOfPage>
- FAO, O. d. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010, Informe Principal, Estudio de FAO/Montes*. Italia .

- Fernandez, S. C., & Rodenas, A. Q. (1999). *Los sistemas de información geográfica en la gestión forestal*. España .
- Forero, J. (1981). *Biodiversidad y conservación del bosque Neotropical de Montarie*. New York, USA. New York Botanical Garden Press.p. Estados Unidos de Norteamérica.
- García, A. C. (2007). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión en el municipio de Momostenango, Totonicapán*. Quetzaltenango, Guatemala.
- García, A. C. (2007). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas Y propuestas de inversión en el municipio de Momostenango* . Quetzaltenango, Guatemala. .
- García, J. L. (2007). *Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca 2006-2007*. Fondo para la conservación de la mariposa Monarca (WWF y FMCN), México.
- García, M. L., Brondo, J. A., & Pérez, M. A. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. Canarias: Litografía Romero.
- GIMBOT. (2014). *(Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra) Mapa de bosque y uso de la tierra 2012 y mapa de cambios y uso de la tierra 2001 - 2010 para estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala.
- GIMBOT, G. I. (2017). *Marco de Gobernanza para el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación del Sector UTCUTS en Guatemala*. Guatemala.
- Girón, I. E. (2006). *Análisis jurídico del marco ambiental de los bosques Guatemaltecos y de las principales causas que provocan su deforestación*. Guatemala.
- Guevara, R. (26 de marzo de 2017). *Combinaciones RGB de imágenes satélite LANDSAT 8 Y SENTINEL*. Obtenido de Gis y Beers: <http://www.gisandbeers.com/combinacion-de-imagenes-satelite-landsat-sentinel-rgb/>

- Hernández, E. G. (2009). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión* . Quetzaltenango.
- IDEAM. (1997). *Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- IGAC. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación*. Bogotá: CIAF.
- INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG, URL. (2019). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de la cobertura forestal 2010 - 2016*. Guatemala.
- INAB, CONAP, UVG, URL. (2012). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de cobertura forestal 2006 - 2010*. Guatemala .
- INAB-CONAP. (2015). *Mapa de cobertura forestal por tipo y subtipo de bosque para la república de Guatemala, 2012*. Guatemala.
- INE. (2002). *XI Censo de Población y VI de habitación, municipio de Momostenango, Totonicapán, Guatemala*. Guatemala .
- López, L., & Hernández, C. (2016). *Diagnóstico del municipio de Momostenango para el año 2015*. USAID, Quetzaltenango.
- MAGA. (2004). *Mapa de uso e intensidad de uso de la tierra para el municipio de Momostenango, Totonicapán, con base en UPGGR y SIG*. Guatemala.
- Mesa nacional de restauración del paisaje forestal de Guatemala . (2018). *Oportunidades de restauración del paisaje forestal en Guatemala*. Guatemala: Serviprensa.
- Narvaez, N. A. (2015). *Clasificación de la cobertura de la tierra en el suelo rural del municipio de Pupiales-Nariño mediante la aplicación de herramientas de SIG*. Manizales, Colombia.
- Palacios, J. R. (2018). *Diagnóstico y estudio de la dinámica de cobertura forestal del período de 1999 al 2017, para el municipio de Palencia, Guatemala*. Guatemala .

- PDM-Momostenango. (2010). *Plan de desarrollo municipal 2011-2021 Momostenango, Totonicapán*. Guatemala.
- REDD-Landscape / CCAD-GIZ. (2016). *Análisis de cambios de la cobertura forestal y uso de la tierra mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial Años 2009 - 2012 - 2015 Cantón de Puriscal República de Costa Rica*. Costa Rica.
- Rodríguez, P. J., Vázquez, X. G., & Sánchez, P. A. (2010). *Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial*. Ponferrada, España.
- SEGEPLAN. (2009). *Plan de desarrollo departamental y municipal, Guía metodológica*. Guatemala.
- SEGEPLAN. (2009a). *Mapeo participativo en el municipio de Momostenango, Totonicapán. Secretaría de planificación y programación de la presidencia*. Guatemala.
- USGS. (2020). *Servicio geológico de los Estados Unidos*. Obtenido de Agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Utz´Ché, & UVG. (2011). *Dinámica de cobertura forestal 2001-2006 e inventario de carbono de la parcialidad Vicentes, San Vicente Buenabaj, Momostenango, Totonicapán*. Guatemala.
- UVG; INAB; CONAP. (2006). *Dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001 y mapa de cobertura forestal 2001*. Guatemala .
- UVG; INAB; CONAP; URL. (2011). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006*. Guatemala.
- Vega, M., & Isabel, M. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente/ Red nacional de teledetección*. Madrid.

Glosario

USGS

El Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan. La agencia se divide en 4 disciplinas científicas mayores: biología, geografía, geología e hidrología, su lema es Ciencia para un mundo cambiante. La USGS es una organización investigadora sin responsabilidades reguladoras.

Validación del mapa

El uso de imágenes de alta resolución espacial contenidas en la plataforma de Google Arath, sustituye la verificación de campo, ya que dichas imágenes permiten obtener información muy similar a la que se obtendría en una verificación de campo, pero con la ventaja de que se puede cubrir un gran número de puntos de control con un esfuerzo y costo considerablemente.

Imágenes Satelitales

Es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada por la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona representada.

Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al exponer detalles que de otra forma estarían fuera de su alcance. El uso de las imágenes satelitales nos permite observar mediante la intensidad del pigmento de cada píxel la menor o mayor absorción de luz por parte de la vegetación en un determinado periodo de tiempo, la existencia de minerales en afloramientos rocosos o la contaminación de los ríos.

LANDSAT 8

El satélite LANDSAT 8, fue lanzado el 11 de febrero de 2013, es un satélite óptico de resolución media cuyo objetivo es proporcionar información para actividades relacionadas con la agricultura, la educación, los negocios, la ciencia y también en el ámbito estatal. Es un satélite más completo respecto a su antecesor, LANDSAT-7.

ILWIS – Percepción Remota y SIG

Es un sistema de información geográfica (SIG), y software de percepción remota para el manejo de información geográfica vectorial y ráster, la característica de ILWIS incluye digitalización, edición, análisis y representación de geo datas, así como la producción de mapas de calidad.

Puntos de control

Puntos del terreno de coordenadas conocidas que pueden ser localizados en una imagen y que por lo tanto se pueden utilizar como apoyo en los procesos de georreferenciación y ortorectificación de una imagen.

Píxel

Cada uno de los elementos que componen una imagen, dispuestos matricialmente en filas y columnas.

Shape

Formato vectorial de almacenamiento y representación de datos espaciales donde se guarda la localización de los elementos representados y los atributos asociados a ellos. Es un formato muy común desarrollado por la compañía ESRI.

Banda espectral o canal espectral

Cada uno de los intervalos de longitudes de onda es capaz de detectar un sensor.

Apéndices

Apéndice A: Formato de entrevistas

**Universidad De San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Ingeniería Forestal
Departamento de Ejercicio Profesional Supervisado**



Para la realización de la entrevista se formularon las siguientes preguntas.

1. ¿La comunidad posee bosque comunitario?
 2. ¿Los integrantes de la comunidad desarrollan actividades sobre extracción de leña, madera, ocoteo u otro tipo de actividad que ha afectado a la degradación de los bosques?
 3. ¿Los bosques de su comunidad han sido afectados por los incendios forestales?
 4. ¿Considera usted que se ha degradado significativamente los bosques de su comunidad?
 5. ¿El crecimiento demográfico y el cambio de usos del suelo ha afectado a la disminución de los bosques?
- ¿Qué servicios ecosistémicos brindan los bosques a las familias de su comunidad

Apéndice B: Formato de Observación por inmersión.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Departamento de Ejercicio Profesional Supervisado
Ingeniería Forestal



Hoja de observación	
Nombre de la finca: _____	
Municipio: _____	Departamento: _____
Tipo de cobertura:	
Bosque: _____	Centro de población: _____
Área de cultivo: _____	Arbustos matorrales: _____
Suelo sin cobertura: _____	
Coordenadas de Ubicación:	
X. _____	Y. _____
Altitud: _____ msnm Pendiente: _____ %	
Observaciones:	

Tabla 31. Observación por inmersión.

Fuente. Elaboración propia enero del año 2020.

Apéndice C: Formato de utilización de los SIG.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Departamento de Ejercicio Profesional Supervisado
Ingeniería Forestal

La elaboración de los mapas de cobertura forestal para el municipio de Momostenango y el análisis respecto a las tasas de cambio entre el periodo del año 2013 al 2020 toma como base las imágenes satelitales obtenidas por el satélite LANDSAT 8 y la utilización de los SIG como instrumentos principales para el procesamiento, análisis y estimación de cobertura por categoría.

Tabla 32. descripción de los SIG utilizados.

Utilización de los SIG		
Programas SIG a Utilizar, (Software)	Versión de Programas de SIG.	Agencia científica Virtual para la descarga de Imágenes Satelitales
ArcMap, (ArcGIS)	10.3	USGS, (servicio Geológico de los estados Unidos)
ILWIS	3.3	
Imágenes satelitales a utilizar: Imágenes LANDSAT 8 .		

Fuente. Elaboración propia, enero del año 2020.

Para ello se trabajaron los siguientes procesos.

- Descarga de imágenes satelitales del municipio
- Procesamiento de imágenes satelitales
- Clasificación supervisada de imágenes
- Filtrado de clasificación de imágenes satelitales.
- Análisis de los resultados del procesamiento de imágenes satelitales.

Apéndice D: Evidencias fotográficas.



Figura 41. Coordinación de salidas para la evaluación de puntos de control y realización de entrevistas con el apoyo de personal de la UGAM Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, febrero del 2021.

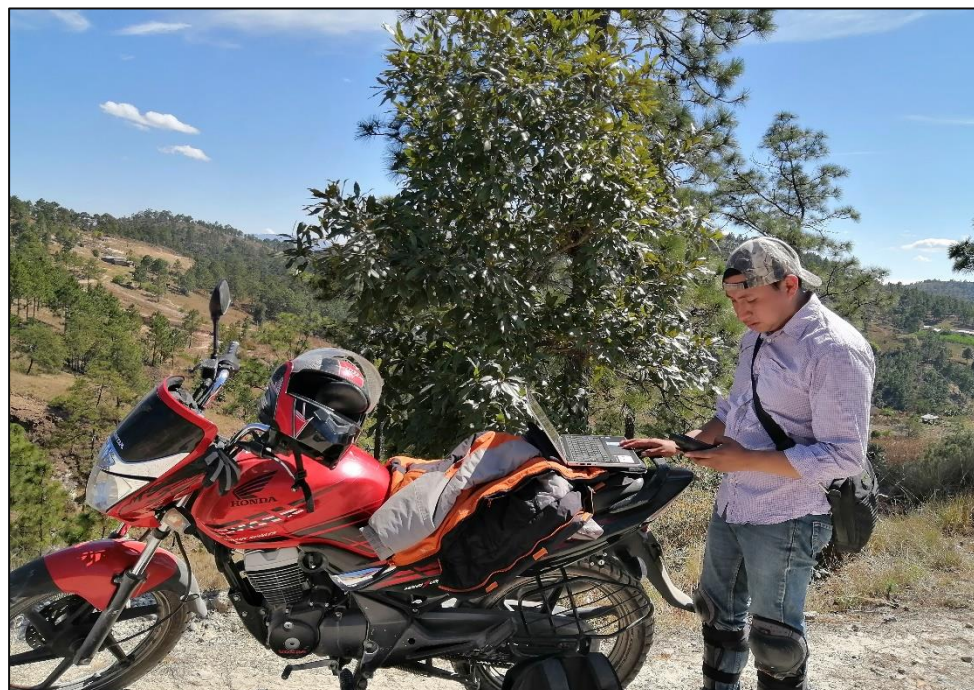


Figura 42. Salidas de campo para la evaluación de puntos de control.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 43. Identificación de áreas con cobertura forestal de acuerdo a puntos de control.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 44. Identificación de áreas clasificadas en la categoría de arbustos matorrales.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 45. Identificación de áreas clasificadas en la categoría de infraestructura y centros de población.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 46. Identificación de áreas clasificadas dentro de la categoría de cultivo.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 47. Zonas de transición entre cultivo y arbustos matorrales.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 48. Identificación de área de arbustos matorrales en extensiones muy significativas siendo parte de los límites de Momostenango con San Francisco El alto.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 49. Entrevistas realizadas en el caserío Jutacaj, aldea Xequemeya, Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 50. Entrevista realizada en el paraje Paxmaramac, Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 51. Entrevista realizada en el caserío Chuinajtajuyup, Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Ilustración 52. Bosques del caserío Xepon grande que han sido afectados por el ocoteo.

Fuente. Elaboración Propia, febrero del año 2021.



Figura 53. Ejemplos de los impactos negativos que sufren los bosques de la parte norte del municipio de Momostenango por el ocoteo.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.



Figura 54. Extracción de leña ilegal para fines comerciales en el caserío Paxmaramac del municipio de Momostenango.

Fuente. Elaboración propia, febrero del año 2021.