

# LÍNEA BASE DE ESPECIES VEGETALES INDICADORAS ADAPTADAS A LA VARIACIÓN CLIMÁTICA, PARA EL MONITOREO DE LOS BOSQUES DE LA PARTE ALTA Y MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE





Proyecto Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático  
y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala



*Al servicio  
de las personas  
y las naciones*

## Línea base de especies vegetales indicadoras adaptadas a la variación climática, para el monitoreo de los bosques de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Guatemala, 05 de octubre de 2017

Elaboración:  
Mardoqueo Basilio

La elaboración y reproducción de este documento es posible gracias al apoyo del Proyecto **Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala (PPRCC)** que dispone de una donación del Fondo de Adaptación que ejecuta el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) e implementa conjuntamente el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).



*Al servicio  
de las personas  
y las naciones*

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ACRÓNIMOS .....	ix
RESUMEN .....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. General .....	2
2.2. Específicos.....	2
3. ANÁLISIS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	2
3.1 Extensión, ubicación geográfica y administrativa.....	2
3.2 Características biofísicas.....	4
a) Climatología.....	4
b) Fisiografía y relieve .....	5
c) Geología y suelos.....	5
d) Vegetación .....	5
e) Fauna.....	8
f) Zonas de vida .....	10
3.3. Características socioeconómicas y culturales .....	12
a) Población .....	12
b) Diversidad de pueblos mayas.....	12
c) Uso de la tierra.....	14
d) Características socio económicas .....	14
e) Formas de organización .....	15
f) Red vial.....	15
4. RESULTADOS .....	18
4.1. Unidades climáticas y unidades climáticas-florísticas, parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate.....	18
4.2. Determinación y cuantificación de áreas boscosas, parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate .....	24
4.3. Caracterización de la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	24
4.3.1. Diseño y construcción de bases de datos de la composición florística.....	24

4.3.2. Visualización cartográfica de la muestra y unidades de muestreo .....	25
4.3.3. Diversidad alfa del área de estudio.....	28
4.3.4. Diversidad beta del área de estudio .....	37
4.3.5. Descripción de los usos de la composición florística .....	48
4.4. Calendario Fenológico de las principales especies que definen la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	48
4.4.1. Descripción fenológica de la vegetación arbórea .....	48
4.4.2. Descripción fenológica de la vegetación arbustiva.....	50
4.5. Selección, valoración y visualización cartográfica de grupos taxonómicos de flora sensibles al cambio climático, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte .....	52
4.6. Comportamiento de grupos taxonómicos bioindicadores en diferentes escenarios futuros de variación climática, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte .....	55
4.6.1. Género <i>Quercus</i> .....	55
4.6.2. Género <i>Pinus</i> .....	57
4.6.3. Género <i>Alnus</i> .....	59
4.6.4. Especie de <i>Bursera simaruba</i> (L.)Sarg. Gard. & For. ....	61
5. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS .....	63
6. CONCLUSIONES .....	65
7. RECOMENDACIONES:.....	67
8. BIBLIOGRAFÍA.....	67
9. ANEXOS.....	71
9.1. Metodología de la Investigación.....	71
1.1. Caracterización de la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte.....	71
1.1.1. Elaboración de mapas bases para la investigación.....	71
1.1.2. Diseño y construcción de la base general de datos de la composición florística .....	73
1.1.3. Ubicación de la muestra y unidades de muestreo.....	74
1.1.4. Definición de las Unidades de Muestreo.....	75
1.1.5. Determinación taxonómica y registro de diversidad florística .....	76
1.1.6. Diversidad alfa del área de estudio.....	77
1.1.7. Diversidad beta del área de estudio .....	78
1.1.8. Denominación y delimitación de comunidades florísticas .....	78
1.2. Calendario Fenológico de las principales especies que definen la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	79
1.2.1. Forma de colecta de información sobre la fenología de la vegetación.....	79

1.2.2. Fenología por forma de crecimiento.....	79
1.3. Especies potenciales como indicadores de cambio climático en base a las unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	80
1.3.1. Fundamento teórico de grupos taxonómicos de especies bioindicadores de cambio climático .....	80
1.3.2. Selección de grupos taxonómicos de especies bioindicadores de cambio climático .....	83
1.4. Escenarios posibles del impacto del cambio climático sobre los bosques, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	83
1.4.1. Modelos de cambio Climático .....	83
1.4.2. Construcción de escenarios.....	84
9. GLOSARIO .....	118

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Población total de cada uno de los municipios que conforman el área de estudio (Instituto Nacional de Estadística, 2012). .....	12
Cuadro 2: Resumen del análisis de regiones fisiográficas de la parte alta de la cuenca del Río Nahualate. ....	18
Cuadro 3: Diversidad de ecosistemas según INAB (2001) en la parte alta de la Cuenca del Río Nahualate. ....	18
Cuadro 4: Categorías de cobertura forestal de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	24
Cuadro 5: Resumen de la caracterización de la composición florística por región fisiográfica en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	28
Cuadro 6: Especies evaluadas por unidades climáticas y por hábito de crecimiento, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate. ....	30
Cuadro 7: Resumen del cálculo de índices de diversidad alfa por comunidad vegetal, parte alta de la cuenca del río Nahualate.....	36
Cuadro 8: Resumen de las especies de mayor valor ecológico por comunidad vegetal en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	38
Cuadro 9: Resumen de las especies de mayor valor ecológico por comunidad vegetal en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	39
Cuadro 10: Distribución de usos de la diversidad florística del área evaluada (Fuente: base de datos de usos de la diversidad de flora evaluada archivo digital “) .....	48
Cuadro 11: Resumen del comportamiento fenológico de las especies de árboles en porcentaje en función de los meses evaluados. ....	49
Cuadro 12: Especies arbóreas con mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas evaluadas. .	50

Cuadro 13: Resumen del comportamiento fenológico de las especies arbustivas en porcentaje en función de los meses evaluados .....	51
Cuadro 14: Especies arbustivas con mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas evaluadas	52
Cuadro 15: Valoración de géneros y especies forestales como bioindicadores de cambio climático .....	53
Cuadro 16: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género <i>Quercus</i> .....	55
Cuadro 17: Comportamiento de la distribución del género <i>Quercus</i> para los cuatro escenarios, parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate .....	56
Cuadro 18: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género <i>Pinus</i> .....	57
Cuadro 19: Comportamiento de la distribución del género <i>Pinus</i> para los cuatro escenarios, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	58
Cuadro 20: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género <i>Alnus</i> .....	59
Cuadro 21: Comportamiento de la distribución del género <i>Alnus</i> para los cuatro escenarios, parte alta de la Cuenca del Río Nahualate .....	60
Cuadro 22: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para <i>Bursera simaruba</i> (L.)Sarg. Gard. & For. ....	61
Cuadro 23: Comportamiento de la distribución de <i>Bursera simaruba</i> (L.)Sarg. Gard. & For. para los cuatro escenarios, parte alta de la Cuenca del Río Nahualate .....	62
Cuadro 24A: Modelo de estructura la leyenda fisiográfica en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	72
Cuadro 25B: Listado de factores bioclimáticos aplicados en la modelación.....	84
Cuadro 26C: Leyenda Fisiográfica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).....	87
Cuadro 27D: Cuadro de estimación de contribuciones de factores ambientales para género <i>Quercus</i> , y <i>Pinus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	106
Cuadro 28E: Cuadro de estimación de contribuciones de factores ambientales para género <i>Alnus</i> y <i>Bursera simaruba</i> (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	106
Cuadro 29F: Registro de selección y valoración de género y especies forestal con potencial de indicadores de cambio climático.....	106
Cuadro 30G: Modelo de la boleta de campo para evaluación vegetal .....	108
Cuadro 31H: Diversidad general de especies y hábito de crecimiento, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de oficinas regionales, subcuencas y municipios del proyecto PPRCC, cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).....	3
Figura 2: Perfil altitudinal respecto a las regiones climáticas de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD, 2016) .....	4

Figura 3: Mapa de regiones fisiográficas de las subcuencas del Proyecto PPRCC cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF., 2016) .....	6
Figura 4: Mapa de geología de las subcuencas del proyecto, cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016). .....	7
Figura 5: Mapa de cobertura forestal y definición de siete zonas por rangos altitudinales, proyecto PPRCC (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016). .....	9
Figura 6: Mapa de zonas de vida de las subcuencas del proyecto, cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016). .....	11
Figura 7: Mapa de grupos étnicos (pueblos Mayas) en subcuencas del proyecto, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).....	13
Figura 8: Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra, cuenca del río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016). .....	16
Figura 9: Mapa del tipo de revestimiento de la red vial en el área de estudio, subcuencas del proyecto PPRCC, cuenca del río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).....	17
Figura 10: Mapa de regiones fisiográficas con código propio, parte alta de la cuenca del Río Nahualate.	19
Figura 11: Ecosistemas en la parte alta de la cuenca del Río Nahualate.....	20
Figura 12: Mapa de unidades climáticas para el área de estudio, parte alta de la cuenca del Río Nahualate. ....	21
Figura 13: Mapa de unidades climáticas-florísticas, parte alta de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016). .....	23
Figura 14: Mapa de distribución de los puntos de muestreo en función de la cobertura forestal y rangos altitudinales, parte alta de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2017). .....	26
Figura 15: Mapa de pendiente y unidades climáticas en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate(Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2017).....	27
Figura 16: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	29
Figura 17: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	29
Figura 18: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	29
Figura 19: comportamiento de especies por unidad climática en la Región Tierras Altas Volcánicas (I)....	31
Figura 20: Comportamiento de especies por unidad climática en le Región Pendiente Volcánica Resiente (II). .....	31
Figura 21: Comportamiento de especies por unidad climática en la Región Llanura Costera del Pacífico (III) .....	31
Figura 22: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Rio Nahualate: 1 = <i>Anthurium fratenum</i> Schott, 2 = <i>Fuchsia arborescens</i> Sims, 3 = <i>Lycianthes chiapensis</i> (Brandege) Standl. y 4 = <i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq. (Fuente: Elaboración propia) .....	32

Figura 23: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate: 5 = <i>Clusia salvinii</i> Donn.-Sm, 6 = <i>Senecio gilgii</i> Greenm. y al fondo <i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride, 7 = <i>Oenothera multicaulis</i> Ruiz & Pavon y 8 = <i>Monochaetum tenellum</i> Naudin (Fuente: Elaboración propia).....	33
Figura 24: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate: 9 = <i>Lippia</i> sp, 10 = <i>Malvaviscus arboreus</i> Cav, 11 = <i>Clethra pachecoana</i> Standl. & Steyer. y 12 = <i>Perymenium grande</i> Hemsl. (Fuente: Elaboración propia).....	34
Figura 25: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate: 13 = <i>Alnus jorullensis</i> HBK, 14 = <i>Coriaria thymifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd., 15 = <i>Tillandsia guatemalensis</i> L. B. Smith y 16 = <i>Arbutus xalapensis</i> HBK. (Fuente: Elaboración propia).....	35
Figura 26: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.3, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	41
Figura 27: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.5, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	41
Figura 28: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.6, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	42
Figura 29: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.7, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	43
Figura 30: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.8, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	44
Figura 31: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.11, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	45
Figura 32: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.12, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	45
Figura 33: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.13, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	46
Figura 34: Dendrograma e historial de conglomeración para la Región Fisiográfica II, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	47
Figura 35: Dendrograma e historial de conglomeración para la Región Fisiográfica III, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	47
Figura 36: Comportamiento de las especies arbóreas según su condición fenológica en los meses evaluados, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	49
Figura 37: Comportamiento de las especies arbustivas según su condición fenológica en los meses evaluados, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: Elaboración propia).....	51
Figura 38: Mapa de distribución potencial actual de los grupos taxonómicos bioindicadores de cambio climático. (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2017).....	54
Figura 39: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para <i>Quercus</i> (Fuente: Elaboración propia).....	55
Figura 40: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para <i>Pinus</i> (Fuente: Elaboración propia).....	57

Figura 41: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para <i>Alnus</i> (Fuente: Elaboración propia).....	59
Figura 42: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para <i>Bursera simaruba</i> (L.)Sarg. Gard. & For. (Fuente: Elaboración propia) .....	61
Figura 43: Mapa de categoría de poblados por unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.....	64
Figura 44A: Esquema de la elaboración de los mapas de unidades climáticas y mapa de unidades climáticas-florísticas en el área de estudio (Fuente: Elaboración propia).....	73
Figura 45B: Diseño del método puntos y cuadrantes de muestreo según Cottam y Curtis (tomado de Tello, Rojas, Macedo B., & Alegría, 2006). .....	76
Figura 46C: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género <i>Quercus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	90
Figura 47D: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 4.5) para género <i>Quercus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	91
Figura 48E: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 6.0) para género <i>Quercus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	92
Figura 49F: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 8.5) para género <i>Quercus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	93
Figura 50G: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género <i>Pinus</i> parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia). .....	94
Figura 51H: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 4.5) para género <i>Pinus</i> parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia).....	95
Figura 52I: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 6.0) para género <i>Pinus</i> parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	96
Figura 53J: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 8.5) para género <i>Pinus</i> parte alta de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .....	97
Figura 54K: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género <i>Alnus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia). .....	98
Figura 55L: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP4.5) para género <i>Alnus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).....	99
Figura 56M: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP6.0) para género <i>Alnus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).....	100
Figura 57N: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP8.5) para género <i>Alnus</i> , parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).....	101
Figura 58Ñ: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP2.6) para <i>Bursera simaruba</i> (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). ....	102
Figura 59O: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP4.5) para <i>Bursera simaruba</i> (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). ....	103
Figura 60P: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP6.0) para <i>Bursera simaruba</i> (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). ....	104

Figura 61Q: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP8.5) para *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia). .... 105

Figura 62: Serie de fotografías de trabajo de campo: 1= forma de colecta de especímenes vegetales, 2= Ing. Sergio Miguel G. prensando muestras, 3 = Paquete de muestras prensadas, 4= Ing. Mardoqueo J. entrevistando a comunitario, 5 = Tomando datos en el campo y 6 = Ing. Sergio Miguel G. con muestra de planta a identificar. .... 117

## ACRÓNIMOS

ANACAFE	Asociación Nacional del Café
AR5	Reporte de evaluación, versión cinco
CMIP5	Proyecto de Intercomparación del Modelo Acoplado Fase cinco (por sus siglas en Inglés)
CCSM4	Modelo del Sistema Climático Comunitario, versión cuatro (por sus siglas en inglés)
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CUNTOTO	Centro Universitario de Totonicapán/USAC
CUNOROC	Centro Universitario de Nor-Occidente/USAC
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PPRCC	Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala
RCP	Trayectorias de concentración representativas
TNC	Conservando la Naturaleza. Protegiendo la vida (por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y la Cultura
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
URL	Universidad Rafael Landívar

## RESUMEN

El estudio denominado como “Línea base de especies vegetales indicadoras adaptadas a la variación climática, para el monitoreo de los bosques de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate” se desarrolló en diferentes fases durante un período de un año, de tal forma que los resultados finales se recopilan en el presente documento.

En cuanto a la caracterización de la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, se utilizó un tamaño de muestra de 108 puntos de evaluación. La evaluación de la biodiversidad vegetal se basó en 22 unidades climáticas distribuidas en 3 regiones fisiográficas. La composición florística consta de 392 especies correspondientes a 112 familias botánicas en total. La familia más abundante en especies es Asterácea. El análisis cluster<sup>1</sup> de la vegetación permitió definir 19 comunidades vegetales. Las especies de mayor valor ecológico corresponden a 45 en total entre árboles, arbustos, hierbas, epífitas y lianas.

En cuanto a fenología vegetal, se determinó que el 51% del total de las especies evaluadas de árboles se encontraron con brotes y el 49% presentaron flores, fruto-samillas y flores- frutos. Por otro lado, el 48.08% de árboles florecen en el mes de diciembre. De los cuatro estados fenológicos evaluados, las especies con mayor dominancia son 19 en total.

Las especies potenciales como indicadores de cambio climático corresponden al género *Quercus*, *Pinus* y *Alnus*, mientras que *Arbutus xalapensis* y *Bursera simaruba* se determinaron como especies complementarias por sus características fisiológicas y de fácil respuesta ambiental.

Las especies bioindicadoras se sometieron bajo el análisis de 4 escenarios o Trayectorias de concentración de representativas (RCP) según su grado de forzamiento radiativa (2.5w/m<sup>2</sup>, 4.5 w/m<sup>2</sup>, 6.0 w/m<sup>2</sup> y 8.5 w/m<sup>2</sup>) en un período de tiempo que va de 1990 al año 2050. En términos generales para las especies indicadoras de cambio climático se determinó que a futuro y según el grado del cambio del clima, así como por factores topográficos como la exposición y la pendiente del terreno y por factores antropogénicos tales como el sobre uso del suelo, cambio de uso y otros; o habrá retraimiento o habrá desplazamiento geográfico de las especies.

---

<sup>1</sup> Análisis cluster: permite clasificar una población en un número determinado de grupos, en base a semejanzas y no de perfiles existentes entre los diferentes componentes de dicha población.

## 1. INTRODUCCIÓN

Guatemala se ha catalogado como uno de los diez países del planeta con mayor riesgos y vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático (MARN-CONAP, 2011) y por otro lado se ha catalogado como país megadiverso biológicamente, por lo que estas dos condiciones generan compromisos urgentes para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas que aún existen.

Por lo tanto, el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD impulsaron el desarrollo del estudio “Línea base de especies vegetales indicadoras adaptadas a la variación climática, para el monitoreo de los bosques de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate”, en la misma el área de influencia que equivale al área de estudio, se denominó como como parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate<sup>2</sup>.

Siendo el objetivo de dicho estudio, establecer una línea base para proponer especies vegetales indicadoras adaptadas a la variación climática, para el monitoreo de bosques de la parte alta de la cuenca del Río Nahualate, se ha determinado en el área de estudio, la existencia de 392 especies vegetales distribuidas en 112 familias, evaluadas como árboles, arbustos, hierbas, lianas y epífitas, así como su estado fenológico a nivel de brotes, frutos, flores-frutos y frutos-semillas. Además se evaluó el uso de las especies, lo que dio como resultado usos para alimento humano, alimento de animales, uso medicinal, uso para colorantes, ornamental o ceremonial, maderable, energético, fibra artesanal, saponífero y sobra de café.

De la diversidad vegetal encontrada, se valoró y se seleccionó tres grupos taxonómicos *Quercus*, *Pinus* y *Alnus*, así como dos especies complementarias *Arbutus xalapensis* y *Bursera simaruba*, como especies indicadoras de cambio climático.

Al realizar el análisis de los grupos taxonómicos en confrontación 19 factores ambientales climáticos en un período que va de 1990 a 2050 bajo cuatro escenarios según su forzamiento radiativo (2.5w/m<sup>2</sup>, 4.5 w/m<sup>2</sup>, 6.0 w/m<sup>2</sup> y 8.5 w/m<sup>2</sup>) se generaron mapas de escenarios, los cuales en términos generales reflejan reatramiento y desplazamiento de las especies para el futuro, mientras el curso de las alteraciones continúen según el ritmo actual.

Adicionalmente, el presente documento se ha estructurado bajo cuatro marcos: caracterización de la composición florística, calendario fenológico, especies potenciales como indicadores de cambio climático y escenarios posibles del impacto del cambio climático; con la finalidad de proporcionar información que sirva como herramienta de ayuda para la toma de decisiones de los diferentes actores directos e indirectos que se orienten a la protección, conservación y restauración de la biodiversidad de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

---

<sup>2</sup> Según PPRCC/PNUD-AF (2016) en la parte alta de la cuenca del Río Nahualate se encuentran las subcuencas Alto Nahualate, Igualxucube, Tzozomá, Paximbal, Yatzá, Igualcox, Masá y la microcuenca Paquia camiyá, mientras que en la parte media se encuentran las subcuencas Bravo, Chunajá, Coralito, Ixtacapa, Mixpiya, Mocá, Nicá, Panán, San Francisco, Siguacán, Tarro. Son 18 subcuencas y 1 microcuenca en total, todas como áreas de interés del proyecto “Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala” –PPRCC.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

2.1.1. Definir una línea base de especies vegetales indicadoras de variación climática en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

### **2.2. Específicos**

2.2.1. Determinar las unidades climáticas de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

2.2.2. Determinar y cuantificar las áreas boscosas en base al reconocimiento de campo e información cartográfica reciente en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

2.2.3. Evaluar y caracterizar la composición florística en las diferentes unidades climáticas en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

2.2.5. Definir el período fenológico de las principales especies que determinan la composición florística de las diferentes unidades climáticas de la cuenca del Río Nahualate.

2.2.6. Seleccionar y valorar los grupos taxonómicos de flora, sensibles al cambio climático en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

2.2.7. Analizar el comportamiento de los grupos taxonómicos bioindicadores en diferentes escenarios futuros de variación climática.

## **3. ANÁLISIS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **3.1 Extensión, ubicación geográfica y administrativa**

El área total de estudio corresponde a la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate y es área de interés del proyecto Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala (PPRCC), que tiene como área de influencia 18 sub-cuencas y 1 microcuenca. La superficie total es de 82,479.55 Ha, esta superficie se divide en Región del Altiplano y Región de la Bocacosta con condiciones climáticas muy diferenciada (ver figura 1) (PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).

Geográficamente, el centro del área corresponde a un punto cuyas coordenadas en el Sistema Guatemala Transversal de Mercator son: Latitud Norte (X) 410,000 y Longitud Este (Y) 1620000. El área de estudio queda delimitada en el Norte por el departamento de Totonicapán, en el Este por el territorio del departamento de Sololá, en el Sur se encuentran los municipios de Mazatenango, San Antonio Suchitepéquez, Patulul del departamento de Suchitepéquez y en el Oeste se encuentra el departamento de Quetzaltenango.

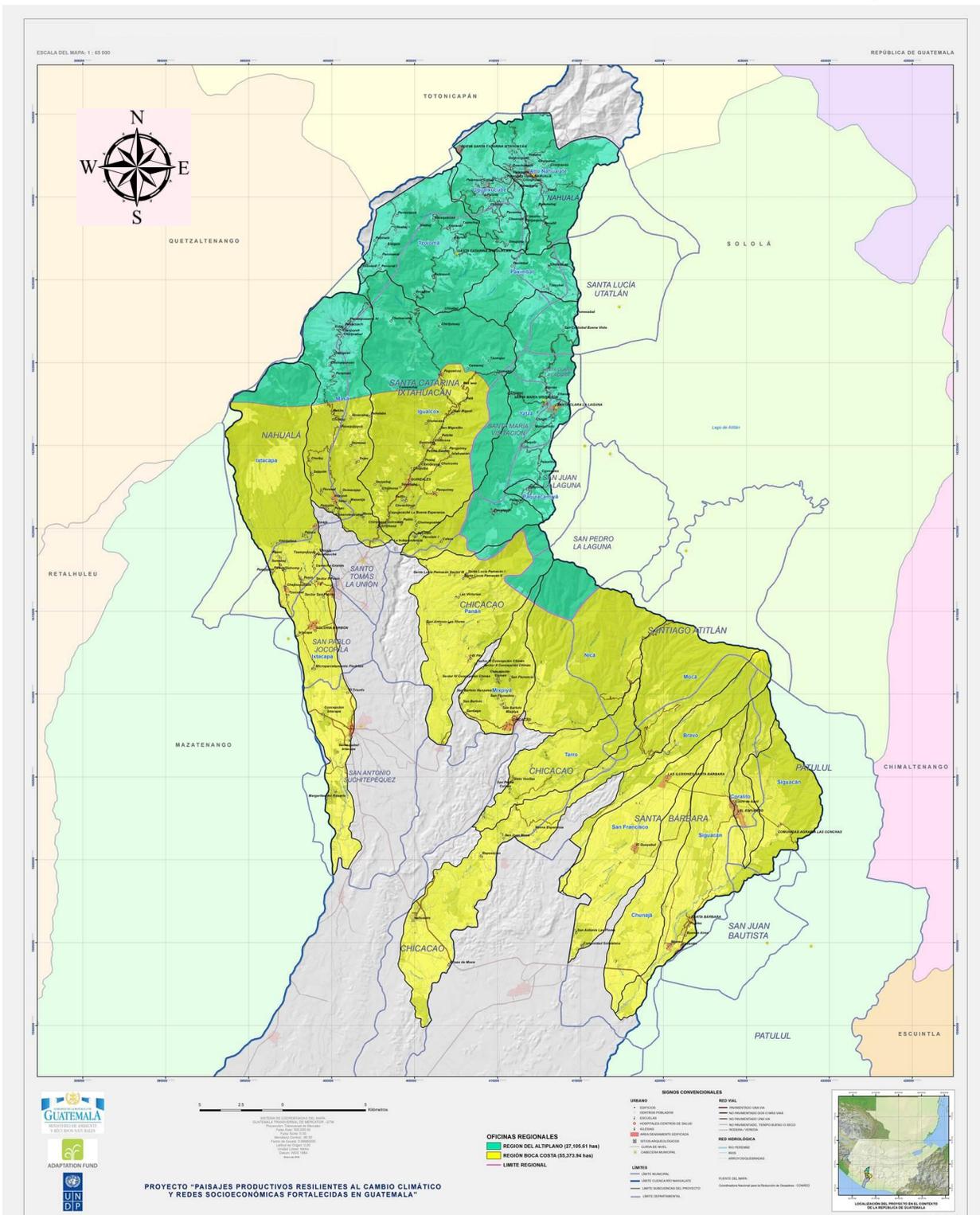


Figura 1: Mapa de oficinas regionales, subcuencas y municipios del proyecto PPRCC, cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).

### 3.2 Características biofísicas

#### a) Climatología

El área de estudio se clasifica en 3 regiones climáticas, según el perfil de la figura 2 (PPRCC/MARN-PNUD, 2016).

- a.1) Región del occidente y región del altiplano central o meseta central.
- a.2) Región de boca costa y
- a.3) Región costa sur.

En estas regiones climáticas se definen dos épocas climáticas anuales: la época lluviosa y época seca. La época lluviosa generalmente es de mayo a octubre, y la época seca de noviembre a abril (PPRCC/MARN-PNUD, 2016).



Figura 2: Perfil altitudinal respecto a las regiones climáticas de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD, 2016)

La estimación de la precipitación promedio anual varía de 2,919 mm a 5,630 mm, en las partes de mayor altitud y la temperatura promedio anual varía de 5.3 a 26.4 grados centígrados. La amenaza de heladas en la región de occidente y altiplano central se clasifica en categorías de amenaza baja a alta; y la amenaza de sequía varía de baja a moderada. Lo anterior permite inferir que las variables ambientales tienen influencia significativa en el comportamiento del desarrollo biológico del área (PPRCC/MARN-PNUD, 2016).

## **b) Fisiografía y relieve**

El área de estudio comprende 3 regiones fisiográficas, que se ilustran en el mapa de la figura 3 (Altán, 2016) y su comportamiento de relieve en el perfil de la figura 2, según se describe en PNUD (2016).

b.1) La llanura costera del pacífico, posee un relieve regular con pendiente promedio estimada en 14% (PPRCC/MARN-PNUD, 2016). El material geológico predominante son aluviones cuaternarios (figura 4).

b.2) La Pendiente Volcánica Reciente, también denominada boca costa, posee un relieve escarpado, especialmente en las faldas de la zona volcánica. Se estima una pendiente media de 28% para esta región fisiográfica. El material geológico predominante son coladas de lava y la intrusión de materiales de granito (figura 4).

b.3) Las Tierras Altas Volcánicas, es la de mayor extensión en el área de estudio. Su relieve varía de escarpado en la zona de conos volcánicos y laderas de montaña a pendientes altas medias (250%) a pendientes medias moderadas (76%) en la zona inter-montana (PPRCC/MARN-PNUD, 2016) y para mejor comprensión se puede observar la figura 2 que ilustra en el perfil altitudinal el relieve de esta zona. Esta región contiene la mayor diversidad de materiales geológicos integrados por conglomerados, arenisca y carbonatos (CPsr), granito (I), ceniza pómez (Qp), coladas de lava (Qv) y lavas volcánicas sin dividir (Tv), ésta última es la que predomina. Esta diversidad geológica, explica la diversidad de relieves en esta región fisiográfica (figura 4) (PPRCC/MARN-PNUD-AF., 2016).

## **c) Geología y suelos**

El área de estudio está conformada por siete grupos geológicos, que se ilustran en la figura 4: Aluviones cuaternarios (Qa), lavas volcánicas sin dividir (Tv), coladas de lava (Qv), Ceniza pómez (Qp), Granito (I), lutitas, arenisca y conglomerados (CPsr) y Carbonatos Neocomiano-Camapanianos (Ksd).

La figura 4 ilustra que en el área, los grupos geológicos que dominan en orden de magnitud son lavas volcánicas sin dividir (Tv), coladas de lava (Qv) y aluviones cuaternarios (Qa) especialmente en las partes altas y zonas volcánicas. Los grupos geológicos de menor magnitud comprenden el granito, los grupos aluviones cuaternarios y granitos y existe una mínima cantidad de lutitas, arenisca y conglomerados (CPsr) y Carbonatos Neocomiano-Camapanianos (Ksd).

## **d) Vegetación**

La composición florística del área de estudio es diversa por influencia de la fisiografía, las regiones climáticas, del origen y características de los suelos. También influyen los factores ambientales integrados por la temperatura, la precipitación y la humedad relativa. En el área de acuerdo a rangos altitudinales que van con diferencias de 500 msnm, se pueden definir 7 zonas, lo cual hace que el área tenga alta diversidad y riqueza vegetal y faunística. La variación altitudinal del área de estudio abarca desde 80 msnm a 3500 msnm según la figura 5.





En la región del altiplano la diversidad predominante comprende las especies arbóreas de *Pinus ayacahuite*, *Pinus rudis*, *Pinus pseudostrobus*, *Cupressus lusitanica*, *Quercus sp.*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Alnus sp.*, *Zinowiewia sp.* y las especies arbustivas de *Bocconnia volcánica*, *Buddleia sp.*, *Cestrum sp.*, *Garrya sp.*, *Baccharis sp.*, entre otras. Cada una estas especies comprenden la composición florística de los remanentes de bosques mixtos y bosques de coníferas, así mismo algunas se distribuyen como árboles dispersos.

En la región de la zona volcánica y media en función de rangos altitudinales, la diversidad predominante comprende las especies arbóreas *Quercus sp.*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae*, *Alnus jorullensis*, *Ostrya sp.*, *Carpinus sp.*, *Prunus serotina vr capuli*, *Arbutus xalapensis* (Comisión Nacional de Areas Protegidas -CONAP, 2003). Dichas especies son la composición de latifoliados de las áreas de matriz y de parche de bosques coníferas y bosques mixtos.

En la región de la planicie del pacífico, la diversidad sobresaliente comprende las especies de *Attekoa cohume*, *Terminalia amazonia*, *Brosimum alicastrum*, *Lonchocarpus sp.*, *Virola sp.*, *Cecropia peltata*, *Vochysia guatemalensis*, *Pinus caribaea* esta última es introducida por medio de plantaciones.

La mayor área de cobertura forestal se ubica en la parte alta de la cuenca que corresponde a las regiones fisiográficas de Tierras Altas Volcánicas y de Pendientes Volcánicas Recientes, tal como se presenta en la figura 5. En el área de evaluación específicamente en la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico aún persisten muestras de bosque definidos por parches.

Las unidades climáticas del área escenario de evaluación de la vegetación en la parte alta de la cuenca del Río Nahualate se fundamentan en 3 regiones fisiográficas y 15 ecosistemas (INAB, 2001). Se han diferenciado 22 unidades climáticas en total, en la región fisiográfica Tierras Altas Volcánicas 13 unidades climáticas, en la región fisiográfica Pendiente Volcánica Reciente 4 unidades climáticas y 5 unidades climáticas en la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico (Ver figuras 13 y 14). Para las unidades climáticas-florísticas se incluyeron en su fundamentode definición 4 tipos de remanentes de bosques que aún existen en la parte alta dela cuenca: bosques de coníferas, bosques de latifoliados, bosques mixtos y bosques de galería como se ilustra en la figura 15 (INAB & CONAP, 2012).

#### e) Fauna

El área de estudio pertenece a tres de los biomas exclusivos de Guatemala. Bosque de Montaña, Selva Subtropical Húmeda y Sabana Costera del Pacífico (Villar, Anleu, 1998). Por las condiciones climáticas y diversidad vegetal de cada uno de estos biomas también existe alta diversidad faunística, especialmente en los bosques de montaña y sabana costera del pacífico (Tenez, 2008).

Las especies de aves a nivel de Biomas están registrada así: Bosque de montaña con 305, Selva subtropical húmeda 295 y la selva tropical húmeda 286 especies (Villar Anléu, 1,998). Algunas especies de aves registradas en las partes altas del área de estudio, son: *Columba fasciata* (Paloma de montaña), *Buteo jamaicensis* (Gavilan colirrojo), *Aeronautes saxatalis* (vencejo gorgiblanco), *Eugenes fulgens* (colibri), *Colaptes auratus* (Carpintero de pechera), *Turdus rutiforques* (chica o choc choc), *Amazona sp.* (Loro), *Aratinga sp* (Perico). (Morales Ochoa & Calderón Castillo, 2010).



El pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*) y la chara o xara (*Cyanocorax melanocyaneus*) son dos aves reportadas como endémicas a nivel nacional pero se registra su distribución en el área de estudio (Valdez Rodas, y otros, 2000).

La diversidad de especies de mamíferos reportadas para las regiones del área de estudio son *Didelphis* sp (Tacuazin), *Dasyurus novemcintus* (Armadillo), *Cryptotis goodwini* (Musaraña), *Desmodus roduntus* (murciélago común), *Sciurus aureogaster* (Ardilla), *Sylvilagus floridianus* (conejo), *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca). Algunas especies endémicas a nivel nacional de ratones, con posibilidades de presencia en el área a evaluar son: *Microtus guatemalensis*, *Oryzomys rhabdops*, *Peromyscus guatemalensis*, *Reithrodontomys tenuirostris* (Valdez Rodas, y otros, 2000; García Anleu, Ramos, Calderón, & Ponce Santizo, 2014). El endemismo de aves y mamíferos coincide de alguna forma en la región de la cadena volcánica, parte del área de estudio se ubica en esta región (CONAP, 2008).

La riqueza de especies de anfibios y reptiles es menor en la parte alta que corresponde a la región del altiplano occidental que coincide con el bioma bosque de montaña, y aun menor en la parte baja que coincide con los biomas Selva subtropical húmeda y sabana costera del pacífico. Las especies reportadas son *Sceloporus smaragdinus*, *Sibon fischeri*, *Pseudoeurycea rex*, *Geophis nasalis*, *Geophis rhodagaster*, *Rana maculata* (García Anleu, Ramos, Calderón, & Ponce Santizo, 2014).

La especie de mariposa (*Heliconius* spp) presenta menor riqueza en el área a evaluar esto posiblemente por las condiciones climáticas frías en las partes altas (Jolom Morales, 2005). El área de estudio no presenta posibilidades de endemismo para el grupo de mariposas.

Las regiones de tierras altas volcánicas y pie de monte volcánico del área de estudio, se ubica dentro las áreas de endemismo de escarabajos de la familia Passalidae, según el mapa de endemismo elaborado por Schuster, J. (1992) y Monzón (2006) (CONAP, 2008).

En la región del altiplano occidental dentro del territorio del área de estudio, específicamente en el municipio de Nahualá, es común la venta de algunas especies como *Aratinga strenua* (chocoyos), *Bubo virginianus* (Buo) y *Sciurus depppei* (ardillas) (Morales Ochoa & Calderón Castillo, 2010). En la región de la bocacosta y llanura del pacífico dentro del área de estudio es frecuente la presencia de vendedores ambulantes ilegales de las especies *Kinosternon leucostomum* (tortuga casquito), *Boa constrictor* (mazacuata), y especies de iguanas y lagartos (Morales Ochoa & Calderón Castillo, 2010).

#### f) Zonas de vida

El área de estudio, presenta cuatro zonas de vida según el sistema de clasificación de Holdridge. Predomina en extensión la zona bosque muy húmedo subtropical (cálido). La zona de vida bosque muy húmedo montano subtropical que corresponde a la parte Norte del área de estudio y es la de menor extensión (ver figura 6).

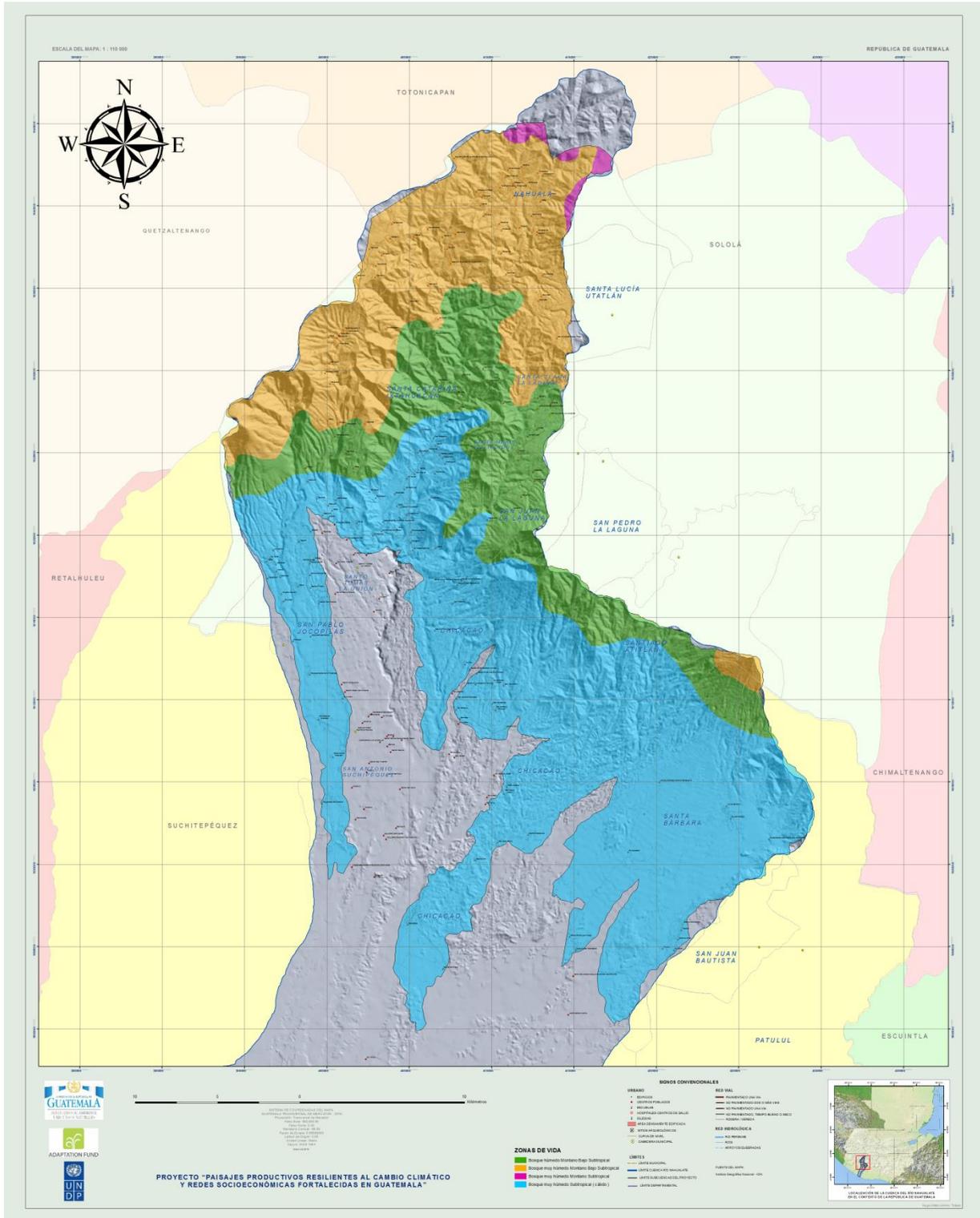


Figura 6: Mapa de zonas de vida de las subcuencas del proyecto, cuenca del Río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).

### 3.3. Características socioeconómicas y culturales

#### a) Población

Según las proyecciones de población con base a la estadística poblacional de la República de Guatemala para el año 2012, se infiere que el área de estudio, corresponde a zonas con intensidad poblacional media, es decir la cantidad poblacional es moderada por superficie, lo cual coincide al menor número de nacimientos ocurridos para esa región. El área de estudio se ubica en zonas catalogadas de mayor pobreza salvo la parte baja, catalogada como pobreza moderada (Instituto Nacional de Estadística, 2012).

Cuadro 1: Población total de cada uno de los municipios que conforman el área de estudio (Instituto Nacional de Estadística, 2012).

Departamento/ municipios	Proyección poblacional total/año 2016	% de la población del total del área	Departamento/ Municipios	Proyección poblacional total/año 2016	% de la población del total del área
<b>Sololá</b>			<b>Suchitepéquez</b>		
Santa María Visitación	2,814	1.68	San Pablo Jocopilas	21,603	9.95
Santa Lucia Umatlán	26,437	15.75	San Antonio Suchitepéquez	55,445	25.54
Santa Catalina Ixtahuacán	52,759	31.43	Chicacao	55,144	25.41
Santa Clara La Laguna	10,926	6.51	Patulul	46,700	21.52
San Juan La Laguna	12,013	7.16	Santa Bárbara	26,052	12.00
San Pedro La Laguna	12,050	7.18	San Juan Bautista	12,105	5.58
Santiago Atitlán	50,839	30.29			
<b>TOTAL</b>	<b>167,838</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>217,049</b>	<b>100.00</b>

Del cuadro 1 se deduce que la población total para el área de estudio asciende a 384,887 personas proyectadas por el Instituto Nacional de Estadísticas para el año 2016. El 56.39% corresponden al departamento de Suchitepéquez y el 43.61% corresponden al departamento de Sololá (Instituto Nacional de Estadística, sf).

#### b) Diversidad de pueblos mayas

En el área de trabajo dominan 3 pueblos mayas, K'ich'é, Tz'utujil y Kaqchik'el. Del área geográfica de estudio el pueblo K'ich'é abarca el 77%, el pueblo Tz'utujil abarca el 22% y existe una pequeña área que abarca el pueblo Kaqchik'el (1.0%).



### **c) Uso de la tierra**

El uso general del área de estudio por la población, corresponde a tres categorías dominantes, agricultura, pastos y áreas de desarrollo de infraestructura urbana y rural. La figura 8, ilustra que el uso agrícola (plantaciones de café, árboles frutales, y otras especies comestibles) domina en la región de la llanura del pacífico y parte del pie de monte volcánico, figurando pequeñas áreas de fragmentos de bosque. El uso agrícola se manifiesta en toda el área sin discriminación por regiones altitudinales ni climáticas.

Los suelos por su buen drenaje, medianamente a muy profundos facilitan los cultivos agrícolas y en las partes bajas presentan buena posibilidad de riego por las corrientes de agua de invierno y verano. Sin embargo en las partes altas del área por sus pendientes escarpadas son de potencial forestal, pero la agricultura es la mayor actividad económica de la población.

### **d) Características socio económicas**

El índice de desarrollo humano para el área de estudio, se estima entre 0.54 y 0.56, se consideran bajos y son inferiores a la media nacional de IDH estimada en 0.64 (PNUD, 2014). Respecto a inseguridad alimentaria, la población del área de estudio en comparación con otras áreas del país, su condición es de baja inseguridad alimentaria, debido a que mucha gente se dedica al comercio, al turismo local, a la producción agrícola en asocio y exportación nacional e internacional (Red Nacional de Grupos Gestores & Banco Industrial, sf).

También contribuye a esta condición la facilidad de acceso en especial en la región de la llanura costera del pacífico y el altiplano, lo que permite la movilización de los productos agrícolas. Aunado a este contexto la población ha emigrado internacionalmente y esto genera divisas en la región. El turismo es una de las actividades económicas importantes para la parte alta en comparación con la parte baja o bocacosta. Según lo expuesto la población presenta un índice de inseguridad alimentaria de leve a moderada (AGEXPORT, sf).

El comportamiento de los precios de algunos bienes y servicios básicos, son diferenciados en el área de estudio, según evaluación en año 2012. En los municipios del departamento de Suchitepéquez, se ha establecido los precios bienes y servicios básicos para el año 2012: la libra de tortilla hasta Q3.93/libra un precio en descenso, el pan dulce había sufrido alzas en un 1.06%, el pollo de granja a Q12.58/libra es decir su alza en precio era de 2.03% comparado con años anteriores, la carne de res había sufrido alzas interanual de 1.42%. La gasolina superior venía bajando con alza interanuales de -0.63% y la energía eléctrica tenía precio medio anual de Q 1.45 por kw/h (Instituto Nacional de Estadística, 2013). En los municipios del departamento de Sololá se deducen los valores de precios de los mismo productos, así: la libra de tortilla venía bajando hasta Q 4.20/libra, el precio promedio del pan dulce había sufrido alzas en un 1.06%, el pollo de granja había llegado hasta precios promedios Q12.33/libra. La energía eléctrica tenía un precio medio anual Q 1.40 por kw/h y la gasolina superior venía bajando con alza interanuales de -0.63%. Esto permite inferir que los bienes y servicios generados en el área de estudio varía según la región fisiográfica, no así los externos al área de estudio que mantienen su precio como el pan, el combustible y la energía eléctrica (Instituto Nacional de Estadística, 2013).

La población económicamente activa total para el departamento de Sololá es del 3.04% y para Suchitepéquez es del 3.67%, de estos datos inferimos que hay mayor población económicamente activa en los municipios del departamento de Suchitepéquez que corresponde al área de trabajo (Instituto Nacional de Estadística, 2013).

Los principales productos agrícolas del área de estudio específicamente en las regiones de la llanura costera del pacífico y la boca costa son café oro, banano, leche, caña de azúcar, plátano, naranja, limón, ajonjolí, mango, cacao, carne de pollo y de res y de la región del altiplano son papa, cebolla, brócoli, aguacate, zanahoria, repollo. La comercialización local de estos de estos productos en su mayoría sucede en las tradicionales plazas que se establecen en calles o avenidas de los centros poblados y supermercados (AGEXPORT, sf).

#### **e) Formas de organización**

En el área de evaluación la población está organizada de formas diferentes: existe la organización comunitaria no formal, entre ellas Los consejos municipales de desarrollo (COMUDES), Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE), Centro de aprendizaje para el desarrollo de Extensión Rural y las organizaciones comunitarias formales (con personería jurídica), Cooperativa Nahualá, Asociación Unidos para vivir mejor, Cooperativa TUNECA, Asociación de Sembradores de Cacao. También existen otras formas de organización no gubernamentales y privadas, por ejemplo Asociación Vivamos Mejor, Asociación Nacional de Café, Asociación de desarrollo productivo y de servicios (PNUD, sf).

#### **f) Red vial**

La red vial son servicios muy importantes para el desarrollo del país, puesto que su estado, mantenimiento, accesibilidad y formas influyen en el desarrollo económico de las comunidades.

En el área de estudio dominan redes viales tipo no pavimentada de dos o más vías y no pavimentado de una vía. Además aún existen los caminos no pavimentados calificados como tipo de rodera, es decir, son caminos sin balastro, accesibles en tiempo de verano con vehículo de doble tracción y en tiempo de invierno accesibles únicamente a pie; especialmente en la región del altiplanicie occidental y la región de la boca costa (Altán, 2016i). Al observar detenidamente la red vial según la figura 9, deducimos que las condiciones de comunicación vial son precarias en la zona especialmente en donde se ubican los pequeños productores y minifundistas. Esta condición vial contribuye al menor desarrollo económico de la parte alta y media del área de estudio, aunque sean regiones con potencial turístico.

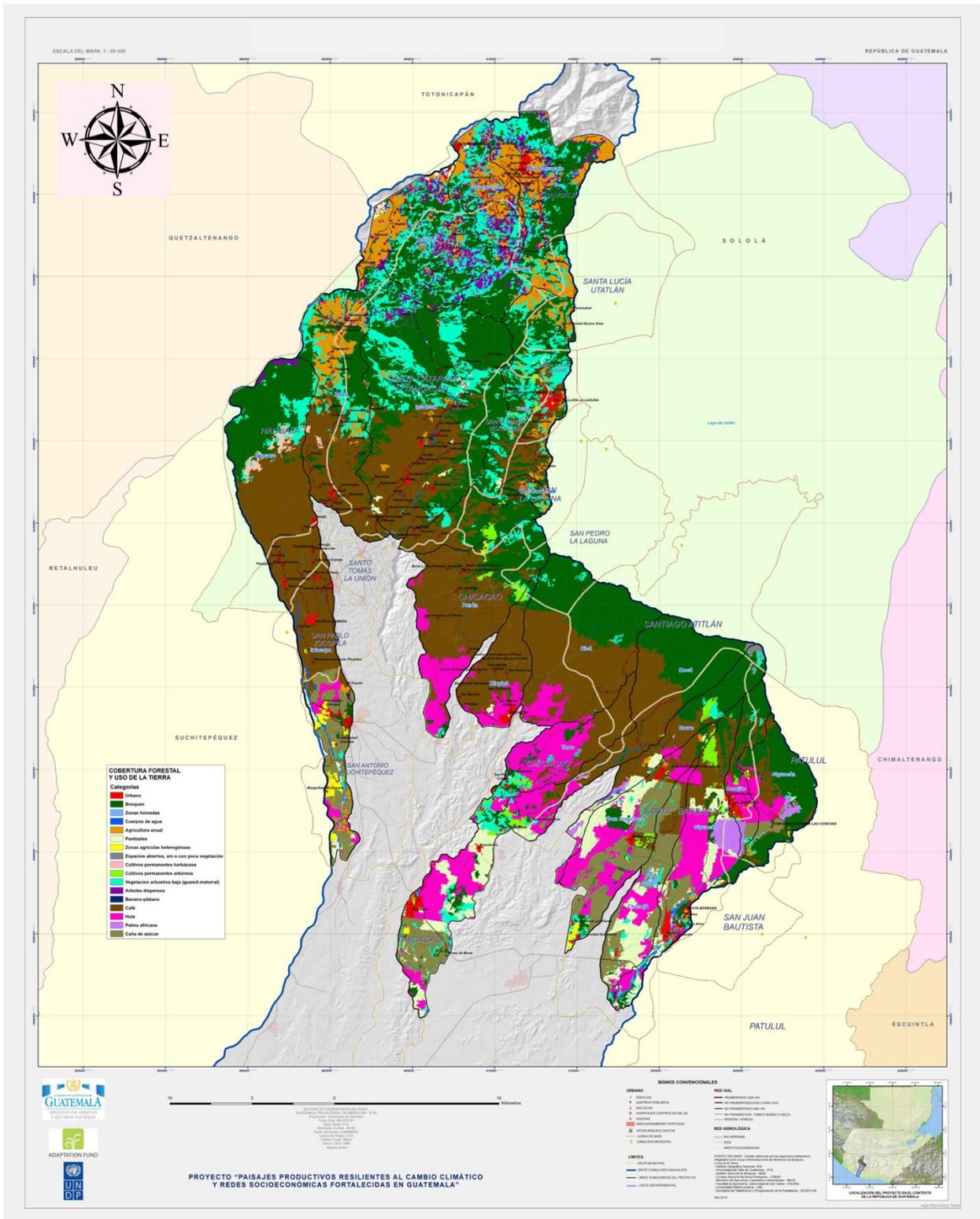


Figura 8: Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra, cuenca del río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).

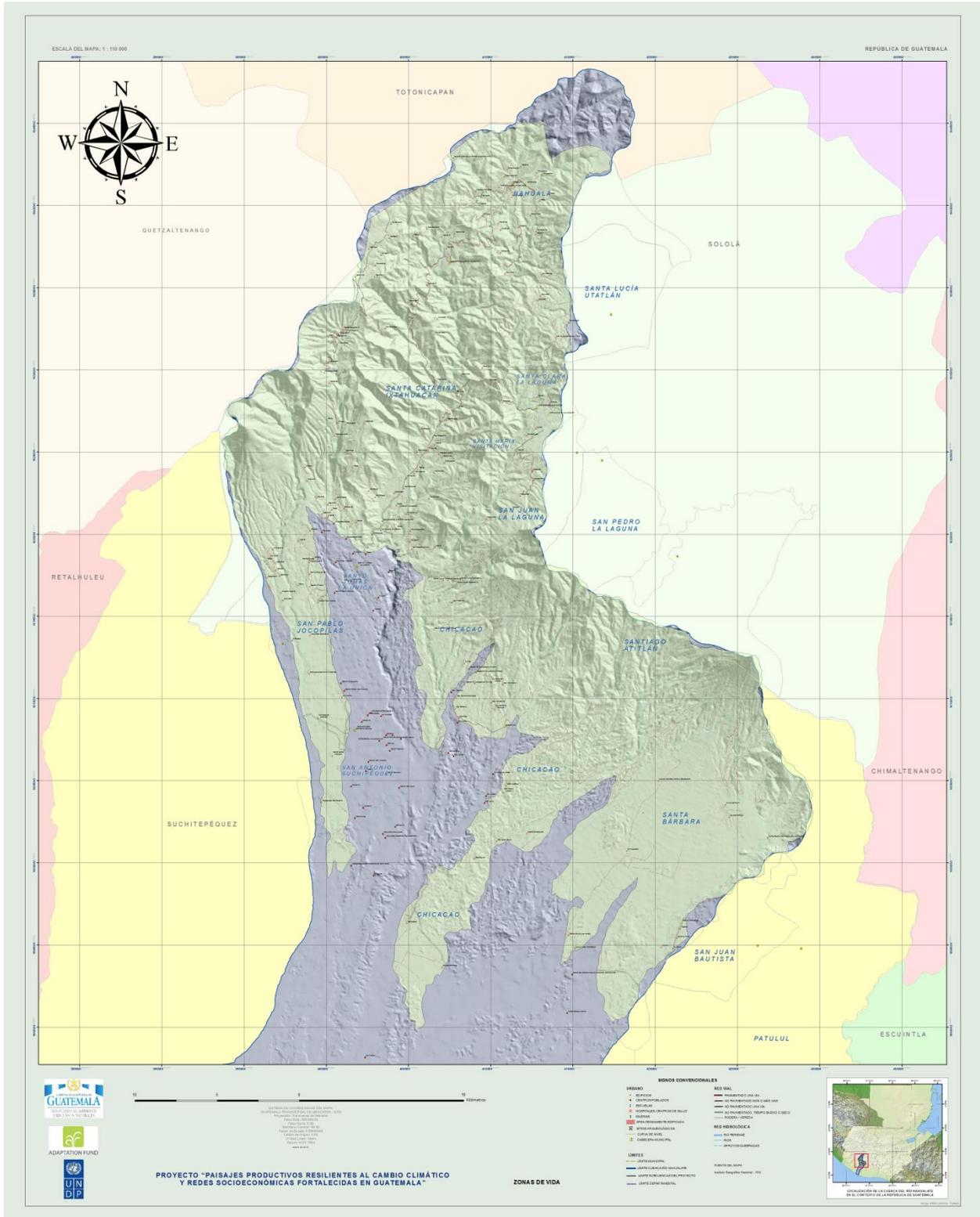


Figura 9: Mapa del tipo de revestimiento de la red vial en el área de estudio, subcuencas del proyecto PPRCC, cuenca del río Nahualate (Fuente: PPRCC/MARN-PNUD-AF, 2016).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Unidades climáticas y unidades climáticas-florísticas, parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate.

El mapa de unidades climáticas del área de estudio, fue producto del desarrolló de una leyenda fisiográfica, la cual, se inició analizando la fisiografía. Como resultado se determinaron tres regiones fisiográficas, las cuales se muestran en el cuadro 2 y además se ilustran en la figura 3 y 10.

Cuadro 2: Resumen del análisis de regiones fisiográficas de la parte alta de la cuenca del Río Nahualate.

No.	Nombre (Regiones fisiográficas)	Código (propio)	Área (Ha)	Área (%)
1	Tierras Altas Volcánicas	I	50925.50	61.74
2	Pendiente Volcánica Reciente	II	24415.41	29.60
3	Llanura Costera del Pacífico	III	7138.64	8.65
TOTAL			<b>82,479.55</b>	<b>100.00</b>

El análisis de ecosistemas definidos por el INAB permitió determinar para el área de estudio un total de 15 ecosistemas. La mayor parte corresponde a ecosistemas montanos del nivel inferior, superior y los denominados altimontanos con diferentes tipos de bosque (ver cuadro 3).

Cuadro 3: Diversidad de ecosistemas según INAB (2001) en la parte alta de la Cuenca del Río Nahualate.

Nombre de los ecosistemas	Código (según INAB)	Código (propio)	Área (Ha)	Área (%)
Bosques latifoliados muy húmedos de bajura	1-18	1	1101.20	1.34
Bosques latifoliados muy húmedos submontanos	1-23	2	909.03	1.10
Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	1-26	3	7671.40	9.30
Bosques mixtos con pino, montano del nivel inferior	1-27	4	737.72	0.89
Bosques latifoliados, montano del nivel superior	1-29	5	4070.67	4.94
Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior	1-30	6	6185.58	7.50
Bosques latifoliados, altimontanos	1-32	7	1863.95	2.26
Bosques mixtos con pino, altimontanos	1-33	8	6378.08	7.73
Bosques de coníferas, altimontanos	1-34	9	1689.20	2.05
Sistema productivo dominado por latifoliadas	4-01	10	4370.65	5.30
Sistema productivo dominado por bosque mixto	4-02	11	8282.27	10.04
Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y/o cacao, y/o cardamomo, de 25-50%	4-06	12	2489.90	3.02
Sistema productivo dominado por latifoliados y café y/o cacao, y/o cardamomo, más del 50%	4-07	13	26132.33	31.68
Mono cultivo (caña de azúcar)	4-11	14	10268.05	12.45
Urbanización	6-02	15	329.52	0.40
TOTAL			<b>82,479.55</b>	<b>100</b>





La figura 11 ilustra la diversidad de ecosistemas del área de estudio y es evidente el dominio espacial del sistema productivo dominado por bosque latifoliado y café y/o cacao, y/o cardamomo en la región de la pendiente volcánica reciente.

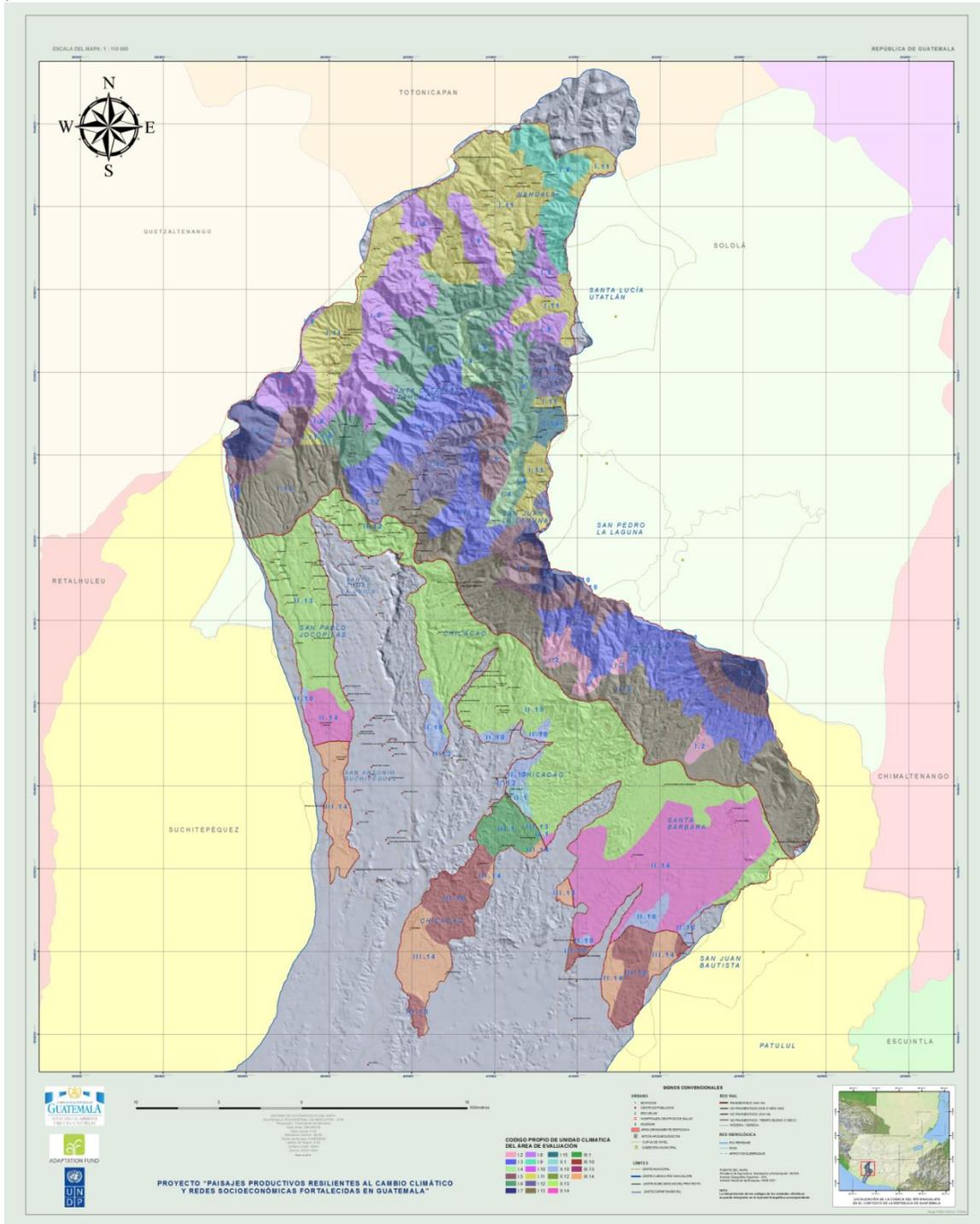


Figura 12: Mapa de unidades climáticas para el área de estudio, parte alta de la cuenca del Río Nahualte.

Como parte de los resultados finales, el mapa de la figura 12 se entregó en forma física a escala 1:25,000 en el cual, se aprecian los detalles de las unidades climáticas.

Para la elaboración del mapa de unidades climáticas florísticas, se utilizó como base la leyenda fisiográfica desarrollada y presentada en el cuadro 26C de anexo.

El cuadro 26C, registra valores máximos de superficie en hectáreas para áreas denominadas como No bosque y corresponden a la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate. Son áreas que han sufrido cambio de usos, generalmente por eliminación de vegetación natural para siembra de grandes extensiones de caña de azúcar, palma africana y otros cultivos anuales. Esta información coincide con los datos del cuadro 4 en donde el tipo de cobertura con mayor superficie es de no bosques.

En el cuadro 26C si se suman los valores totales de áreas en porcentaje por regiones se obtienen los datos siguientes: La Región Tierras altas volcánicas equivale al 61.75% del área total y tiene 13 unidades climáticas, la Región Pendiente Volcánica Resiente corresponde al 29.60% del área total y tiene 5 unidades climáticas y la región Llanura Costera del Pacífico equivale al 8.65% del área total y tiene 4 unidades climáticas. Es evidente que dentro de todos los valores de áreas dominan la denominada no bosque.

La información general del cuadro 26C, registra para el área evaluada, 3 Regiones fisiográficas, 15 ecosistemas, 22 unidades climáticas. En cuanto a unidades climáticas florísticas, se presenta datos por Regiones Fisiográficas: La Región Tierras Altas Volcánicas se dividió en 70 unidades climáticas florísticas, la Región Pendiente Volcánica Resiente se dividió en 29 unidades climáticas florísticas y la Región Llanura costera del Pacífico únicamente contiene 17 unidades climáticas florísticas.

La figura 13 que ilustra las unidades climáticas florísticas permite deducir lo siguiente: La mayoría de unidades climáticas florísticas se concentran en las regiones de tierras altas volcánicas y pendiente volcánica reciente en orden de magnitud superficial. De allí, las siguientes combinaciones fisiográfico-florísticas importantes para el área de estudio:

- En la parte que corresponde a la región de Tierras Altas Volcánicas, es decir la parte que se extiende desde la cadena volcánica hacia el altiplano central; las unidades climáticas-florísticas dominantes según sus códigos son: Bosques latifoliados montanos (I.3.bl) y áreas denominadas como no bosque, es decir no tienen cobertura con vegetación forestal, aunque se usan para otros fines.
- En la parte que corresponde a la región de Pendiente Volcánica Reciente, es decir la parte que se extiende desde la cadena volcánica hacia abajo; las unidades climáticas-florísticas dominantes según su código son: 1.13.H y 1.14.H es decir ecosistemas de Hule, y también dominan II.13.Nb y II.14.Nb, es decir áreas sin cobertura de vegetación forestal.
- En la parte que corresponde a la región Llanura Costera del Pacífico, es decir desde donde inicia la planicie de la bocacosta; las unidades climáticas-florísticas dominantes corresponden a ecosistemas de Hule y áreas que no contienen cobertura de vegetación forestal.

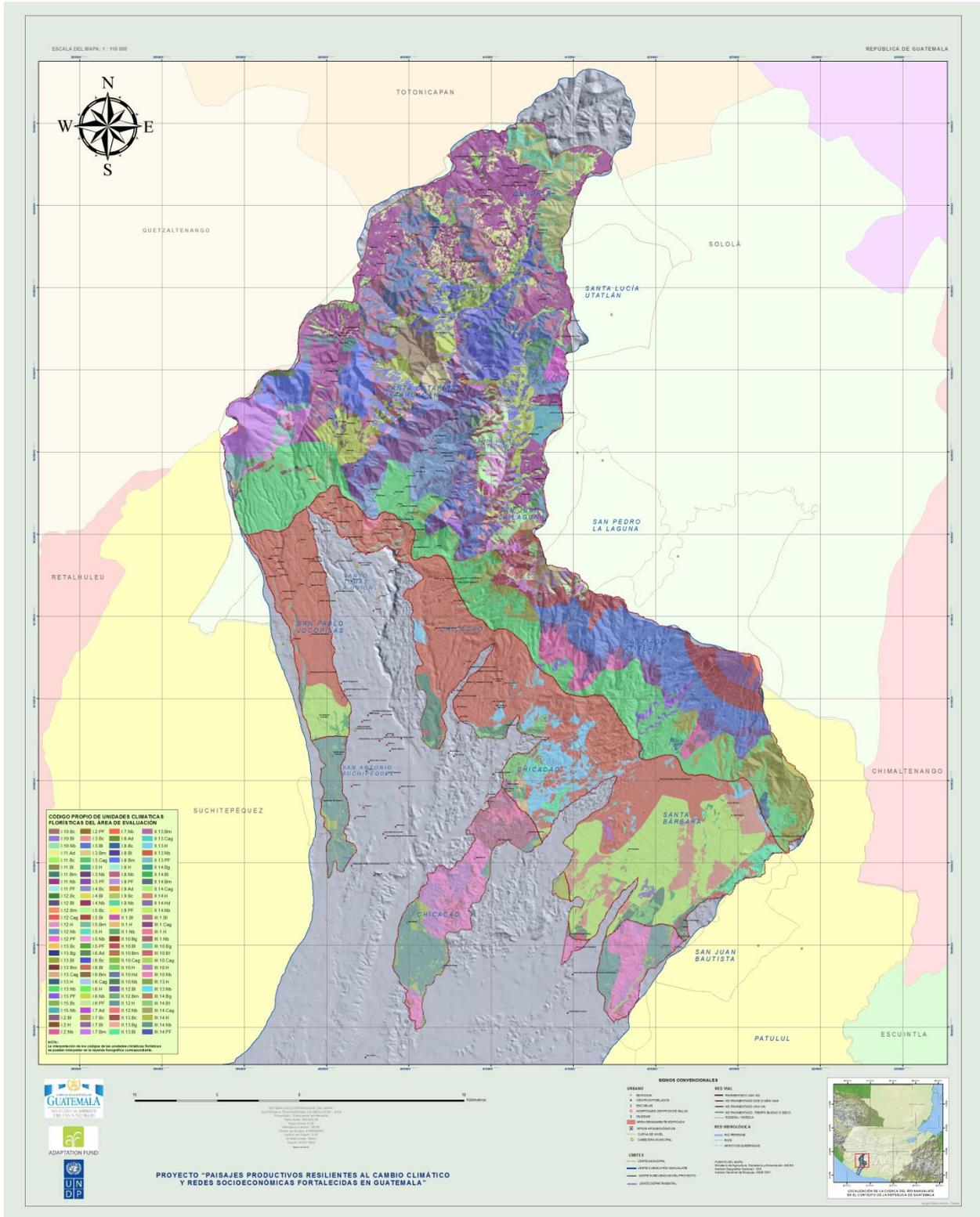


Figura 13: Mapa de unidades climáticas-florísticas, parte alta de la cuenca del Río Nahualte.

## 4.2. Determinación y cuantificación de áreas boscosas, parte alta y media de la Cuenca del Río Nahualate

Con base al mapa de cobertura forestal (INAB 2012), mapa de unidades climáticas y con base a reconocimiento de campo en el área evaluada se definieron 7 tipos de cobertura, las cuales se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 4: Categorías de cobertura forestal de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

No.	Nombre de las categorías de cobertura	Área (Ha)	Área (%)
1	Bosques de coníferas	8,435.15	10.23
2	Bosques de latifoliados	11,239.20	13.63
3	Bosques mixtos	3,895.44	4.72
4	Bosques de Galería	84.84	0.10
5	Árboles dispersos	1,727.37	2.09
6	Plantaciones forestales	654.67	0.79
7	Hule	5,127.73	6.22
No Bosque		51315.02	62.22
<b>Total</b>		<b>82,479.55</b>	<b>100.00</b>

Del cuadro 4 se infiere que el 37.78% del área total cuenta con cobertura forestal, siendo estas; Bosque de coníferas (10.23%), Bosque de latifoliado (13.63%), el 30.77% corresponde a bosques naturales. El 0.79% del área total es de plantaciones forestales y el 6.22% corresponde a plantaciones de hule. Preocupa que el 62.22% del área total no tiene cobertura forestal y se usa para cultivos permanentes, cultivos anuales, zonas húmedas, áreas de infraestructura y cuerpos de agua. La poca cobertura forestal natural hace que el área sea cada vez vulnerable ante los desastres naturales y que para el año 2050 el cambio climático tendrá impactos negativos en el lugar, especialmente en el retraimiento o desplazamiento de la vegetación.

El mapa de cobertura vegetal presentado en la figura 5 en apartados anteriores, se utilizó para intersectar con el mapa de unidades climáticas presentado en la figura 12, lo que dió como resultado el mapa de unidades climáticas florísticas ilustrado en la figura 13

## 4.3. Caracterización de la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

### 4.3.1. Diseño y construcción de bases de datos de la composición florística

Para este propósito se ha construido una base de datos general de la diversidad vegetal en formato electrónico denominado "Base datos general\_diversidad vegetal\_final.xlsx", y se puede descargar en la dirección: <https://drive.google.com/open?id=1xzZftOVgHO3VTfko0urvMoDI8D2QQmSV> el cual, contiene 2,241 registros para todas las especies que representan la composición florística en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, cada registro contiene 30 columnas de información concatenada a cada especie evaluada. Además una base de datos de los usos de las especies vegetales denominado "Base

datos      general\_usos      vegetal\_final.xlsx”      ubicado      en      el      link  
<https://drive.google.com/open?id=1ODbGXdUAKwn6XSPqSINjMFJ9JdsBhejr>

Estas bases de datos cumplieron la función de información matriz, porque permitieron obtener todos los cuadros de análisis de la composición florística y sus usos, así como la información básica para la generación de archivos vectoriales que se utilizaron en la composición cartográfica de la biodiversidad vegetal del área de estudio.

#### **4.3.2. Visualización cartográfica de la muestra y unidades de muestreo**

En la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate se evaluó en total 108 puntos de muestreo. Para esta labor, se involucraron algunos estudiantes del Centro Universitario de Totonicapán –CUNTOTO, específicamente los que viven directamente en el área evaluada, además, personas informantes con posición de liderazgo o relacionados con estas funciones que viven en diferentes comunidades. Entre algunos de los sitios y bosques muestreados en la parte alta que corresponde a la cadena volcánica se encuentran: Bosques del municipio de Nahualá; Cerros Chiriximay y Paculam del municipio de Santa Catarina Ixtahuacán; Cerro Chwanimarche de Santa Lucía Utatlán y Santa Clara La Laguna, Cerro Chiquidhe del municipio de Santa María Visitación; bosques particulares y comunales, Pico Santo Tomás Pecul y Cerro Zunil del municipio de Nahualá; Volcán Atitlán y cerros aledaños que corresponden a los municipios de Santiago Atitlán y Santa Bárbara. En la planicie que corresponde a la parte media de la cuenca se muestrearon algunas áreas boscosas desde comunidad agraria las Conchas hasta la finca privada Los Andes, riberas del Río Sigüacán en finca privada Las Victorias, resabios de bosques en los lugares tales como Comunidad Sololteca, San Antonio Las Flores, San Juan Mocá, San Pedro Cutzán, Concepción Ixtacapa. Cada uno de los puntos mencionados se ilustra en la figura 14.

La distribución de unidades de muestreo en función de los rangos altitudinales, se encuentran entre un rango de 100 a 3500 msnm (figuras 5 y 14). La mayoría de las unidades de muestreo se ubican en áreas con pendientes que varían de 30 a 45 grados tal como se ilustra en la figura 15. Estas áreas tienen accesibilidad limitada, factor que ha influido en la presencia de cobertura forestal, lo que ha permitido hallar la diversidad florística reportada.

Según la cobertura forestal (INAB, 2012) y la ubicación de los puntos de muestreo (figura 14), se han evaluado los ecosistemas denominados bosques de coníferas, bosques de latifoliadas, bosques mixtos, bosques de galería y ecosistemas de árboles dispersos.





#### 4.3.3. Diversidad alfa del área de estudio

##### a. Descripción de la composición florística e ilustraciones

Al analizar la figura 10, que ilustra las Regiones fisiográficas y con auxilio del cuadro 5, se ha determinado en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, que la Región Fisiográfica Tierras altas volcánicas (I), es la que representa la mayor cantidad de la diversidad florística evaluada, ya que contiene 108 familias, 365 especies y por otro lado, las formas de crecimiento dominantes para esta región son árboles y arbustos. La región fisiográfica pendiente volcánica Reciente (II), contiene 33 familias y 55 especies y otro análisis que se hace es que en la región II dominan las especies con forma de crecimiento de árboles y le siguen los arbustos. La región fisiográfica III contiene 27 familias y 43 especies en total, así mismo, dominan los árboles y arbustos.

En el cuadro 5 se describe la distribución de familias y especies por región fisiográfica y los individuos evaluados por hábito de crecimiento.

Cuadro 5: Resumen de la caracterización de la composición florística por región fisiográfica en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

REGION FISIOGRAFICA	Número de familias	Número de especies	Número de individuos por hábito de crecimiento					Total de datos colectados
			árbol	arbusto	Hierba	Epífita	Liana	
I	108	364	659	765	367	95	180	<b>2066</b>
II	33	54	60	15	3	1	3	<b>82</b>
III	27	41	76	13	0	0	1	<b>90</b>

La mayor proporción de individuos evaluados corresponden a los hábitos de crecimiento de árbol y arbusto, según base de datos.

La diversidad total evaluada en el área de estudio corresponde a 392 especies, agrupadas en 112 familias. Las familias con más de cinco especies definidas como las más diversas para propósitos del estudio, son 18 lo que equivale al 16.07% del total de las familias vegetales evaluadas; las que se citan en orden descendente de diversidad así: Asteraceae con 51 especies, Fabáceas 23 especies, Rubiáceas 15 especies, Rosáceas con 13, solanáceas con 12, Lamiaceae y Melastomatácea con 9 cada una, Onagrácea y verbenácea con 8 especies cada una; Areacea, Bromelaceae, Orchideaceae, Poaceae con 7 especies cada una; y Apiaceae, Arecaceae, Fagaceae, Myrsinaceae y Urticaceae con 6 especies cada una. La diversidad de especies que agrupan estas familias consideradas diversas, suman 206 que equivale al 52.55% de la diversidad evaluada.

Las figuras 16, 17, 18 muestran las frecuencias de especies por familia, mismas que representan la diversidad hallada en el área de estudio y además, han servido de base para el análisis de la caracterización de la diversidad florística.

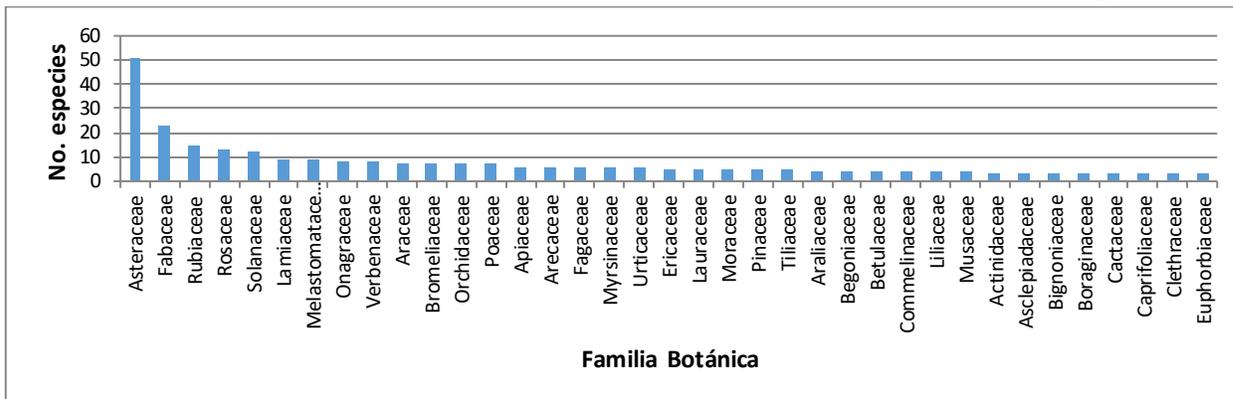


Figura 16: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

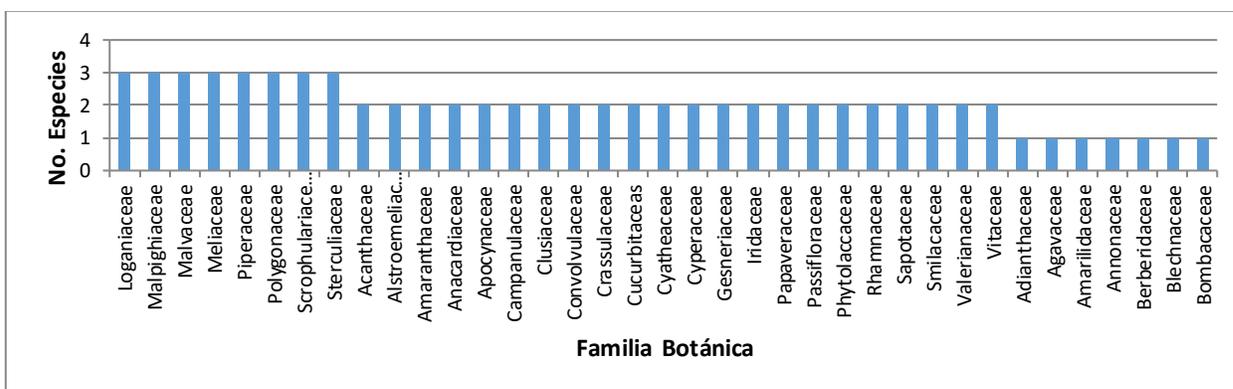


Figura 17: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

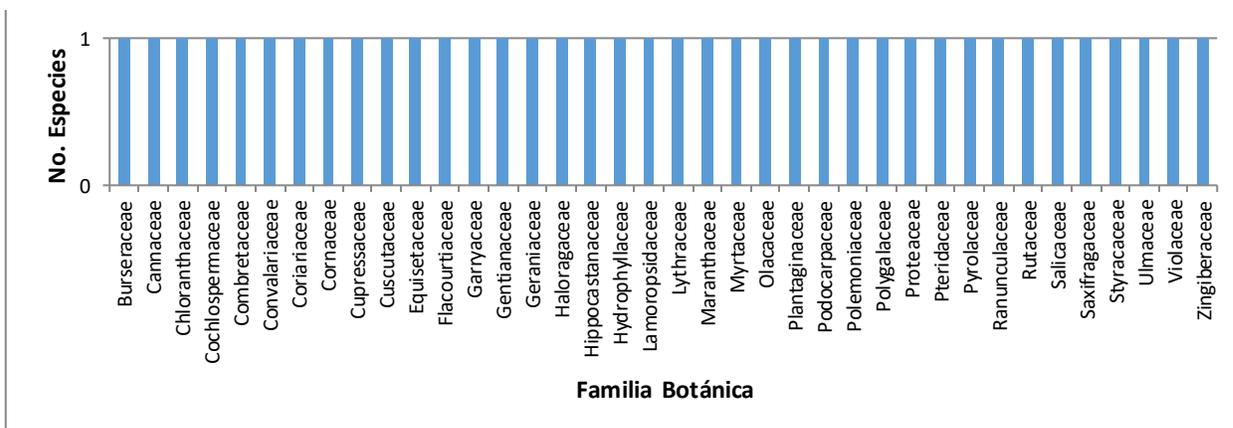


Figura 18: Frecuencia de especies evaluadas por familia botánica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

En cuanto a la diversidad vegetal por unidad climática, se puede ver en el cuadro 6, que la mayor concentración de especies se presenta en las unidades climáticas I.6 y I.8 y que en ambas dominan las especies de arbustos y le siguen los árboles.

Cuadro 6: Especies evaluadas por unidades climáticas y por hábito de crecimiento, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

Región fisiográfica	Código de Unidades climáticas	Nombre de unidades climáticas	especies/Forma de crecimiento					Total de especies
			Árbol	arbusto	Hierba	Epífitas	Lianas	
I (Tierras altas Volcánicas)	I.3	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	44	50	26	10	8	138
	I.5	Bosques latifoliados, montano del nivel superior	31	38	18	6	13	106
	I.6	Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior	48	54	33	9	18	162
	I.7	Bosques latifoliados, altimontanos	18	42	23	4	11	98
	I.8	Bosques mixtos con pino, altimontanos	28	51	46	10	15	150
	I.11	Sistema productivo dominado por bosque mixto	26	58	31	10	10	135
	I.12	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, 25-50%	33	36	27	1	11	108
	I.13	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, más del 50%	21	24	6	1	2	54
II (Pendiente volcánica reciente)	II.13	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)	12	10	3	1	2	28
	II.14	Mono cultivo, caña de azúcar	27	4	0	0	1	32
III (Llanura costera del pacífico)	III.1	Bosques latifoliados muy húmedos de bajura	15	1	0	0	0	16
	III.10	Sistema productivo dominado por latifoliadas	30	7	0	0	1	38
	III.14	Mono cultivo, caña de azúcar	11	2	0	0	0	13

En las unidades climáticas de las regiones fisiográficas Pendiente volcánica Resiente y Llanura costera del pacífico dominan las especies de árboles, luego le siguen los arbustos, mientras que las otras formas de crecimiento no existen excepto las lianas.

Las figuras 19, 20 y 21, muestran la distribución de especies según su forma de crecimiento por unidades climáticas bien marcadas en las Regiones fisiográficas. Es importante notar que las unidades climáticas en de la Región I, presentan las 5 formas de crecimiento evaluado y esto es porque los bosques existentes en esta región aún se encuentran intactas, no han sido muy intervenidas por el ser humano, quizá por las barreras naturales (relieve difícil y altas pendientes) que presenta dicha región. Lo que no sucede en las otras dos regiones fisiográficas (I y II), en donde las áreas boscosas han sido alteradas. Se puede deducir que el tipo de dominio y tenencia de las tierras influye en la estructura vertical de la vegetación, ya que ha habido alteración bajo diferentes conceptos.

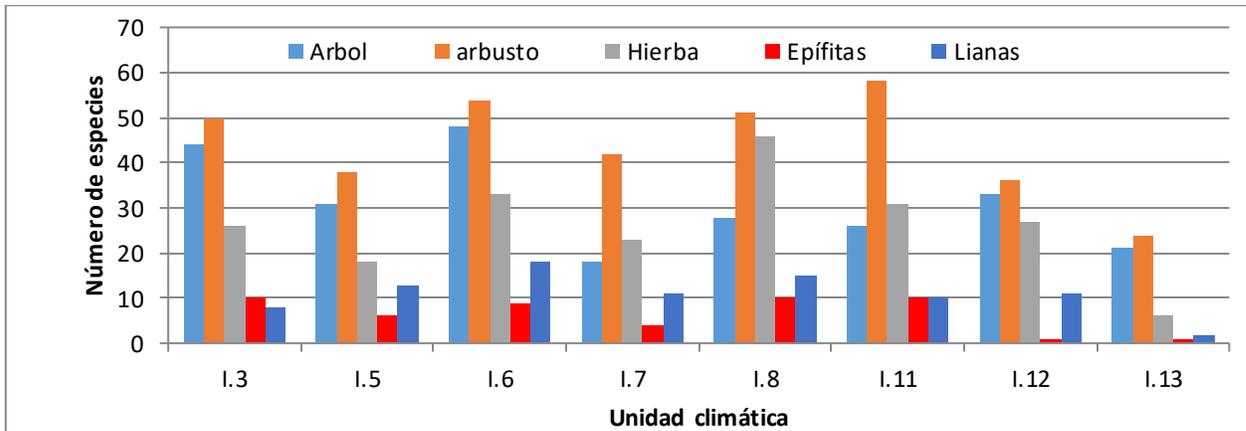


Figura 19: comportamiento de especies por unidad climática en la Región Tierras Altas Volcánicas (I).

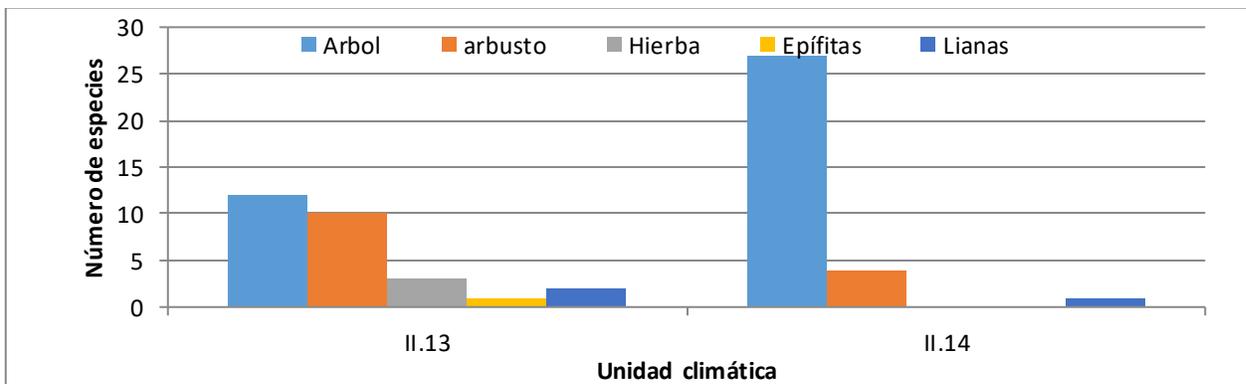


Figura 20: Comportamiento de especies por unidad climática en le Región Pendiente Volcánica Resiente (II).

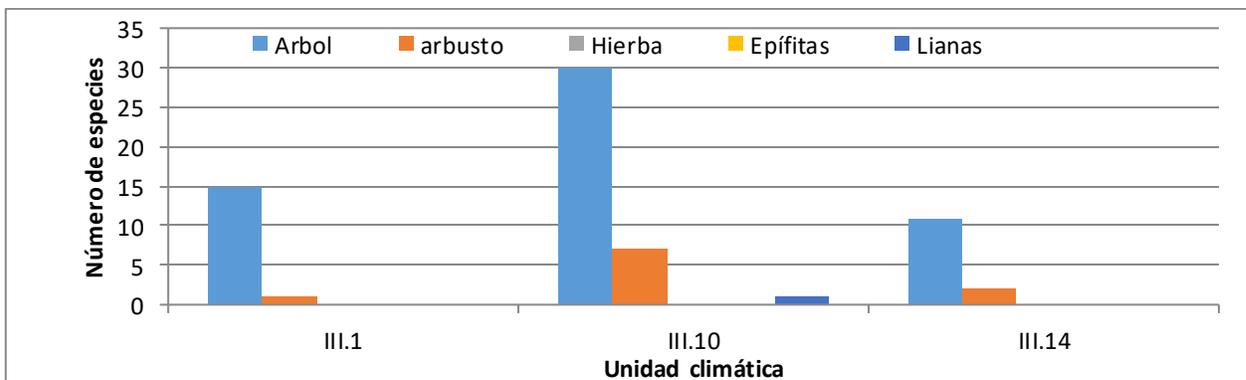


Figura 21: Comportamiento de especies por unidad climática en la Región Llanura Costera del Pacífico (III)

A continuación se presenta un mosaico de fotografías de especies, constituidas por las figuras 22, 23, 24 y 25, las que ilustran apenas algunas especies que constituyen la diversidad de especies de hierbas, arbustos, árboles del área evaluada.

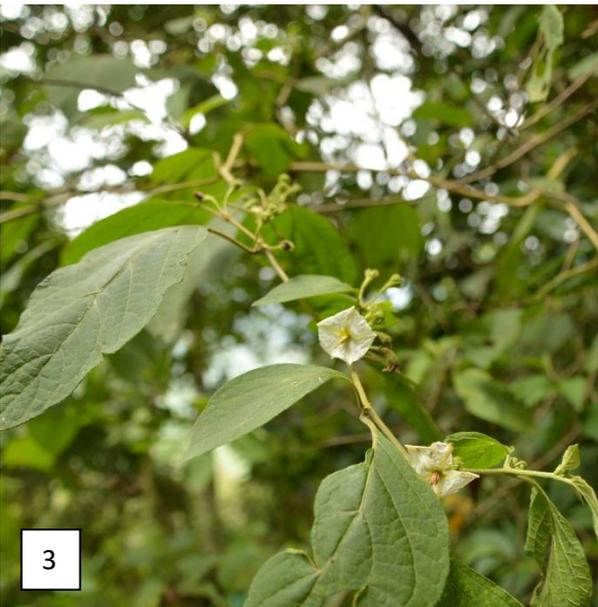
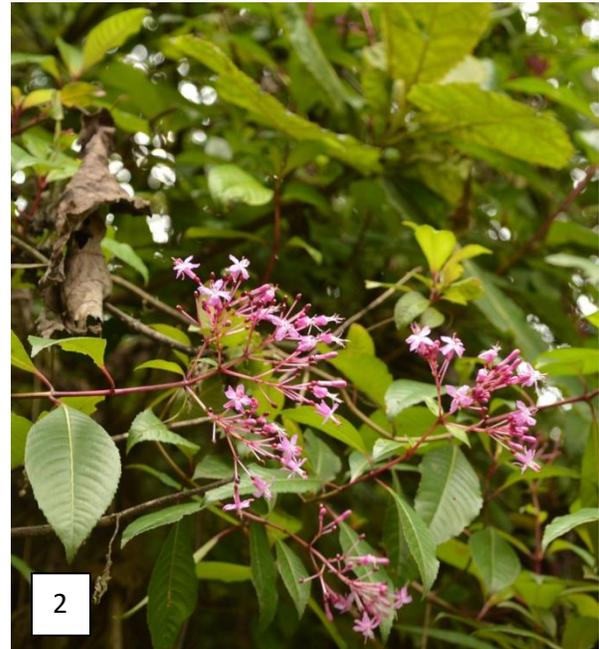


Figura 22: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate: 1 = *Anthurium fratenum* Schott, 2 = *Fuchsia arborescens* Sims, 3 = *Lycianthes chiapensis* (Brandege) Standl. y 4 = *Triumfetta rhomboidea* Jacq.



Figura 23: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Rio Nahualate: 5 = *Clusia salvinii* Donn.-Sm, 6 = *Senecio gilgii* Greenm. y al fondo *Ostrya virginiana* var. *guatemalensis* (Winkl.) Macbride, 7 = *Oenothera multicaulis* Ruiz & Pavon y 8 = *Monochaetum tenellum* Naudin

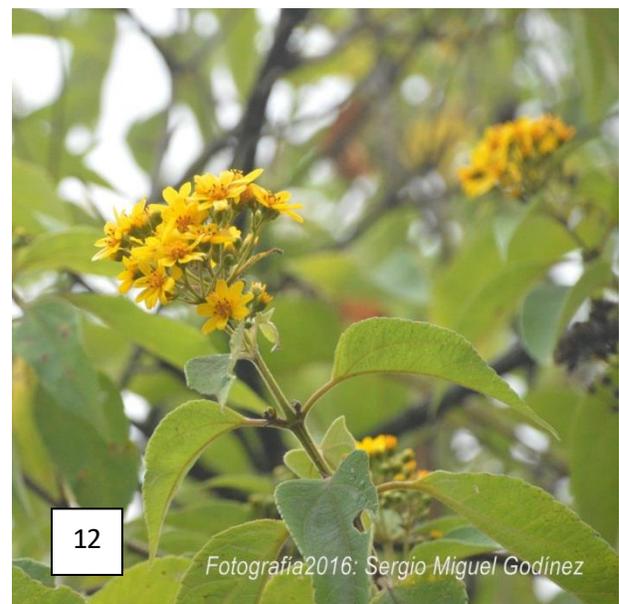
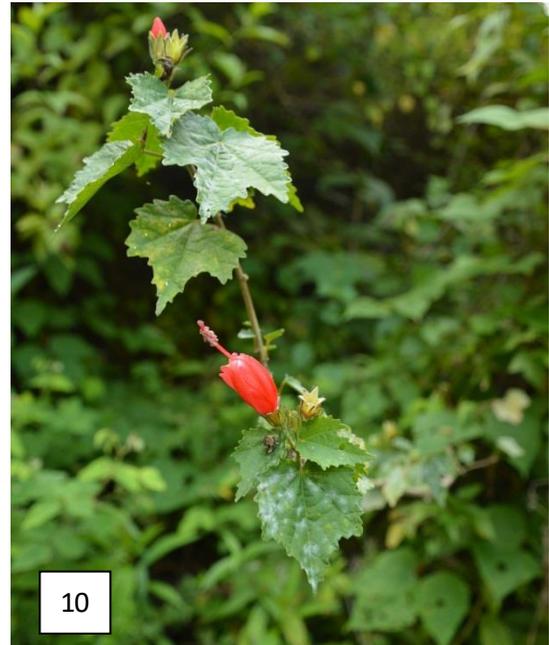


Figura 24: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Rio Nahualate: 9 = *Lippia* sp, 10 = *Malvaviscus arboreus* Cav, 11 = *Clethra pachecoana* Standl. & Steyer. y 12 = *Perymenium grande* Hemsl.

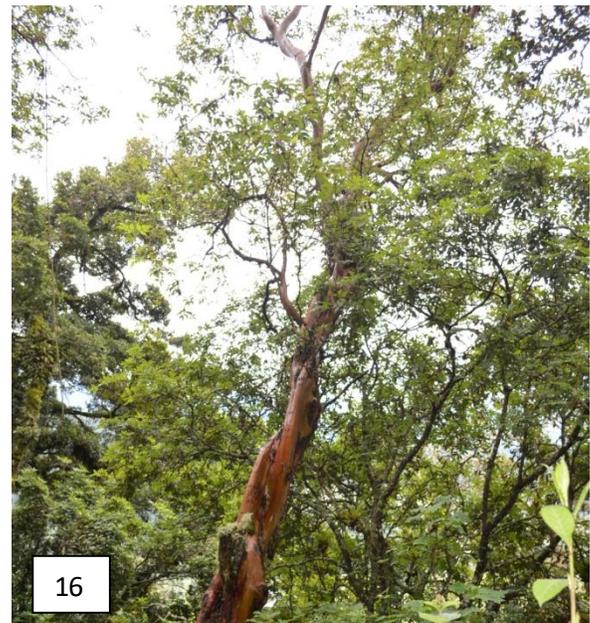


Figura 25: Mosaico de imágenes de especies vegetales, parte alta y media de la cuenca del Rio Nahualate: 13 = *Alnus jorullensis* HBK, 14 = *Coriaria thymifolia* Humb. & Bonpl. ex Willd., 15 = *Tillandsia guatemalensis* L. B. Smith y 16 = *Arbutus xalapensis* HBK.

## b. Cálculo de los índices de la diversidad alfa

En el cuadro 7 se presenta el resumen del análisis y los cálculos de los indicadores de la diversidad alfa de la vegetación evaluada en el área de estudio, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

En el cuadro 7 los valores del índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) son cercanos al valor del logaritmo natural de la riqueza específica, lo que sugiere una representación equilibrada de todas las especies en las comunidades. Además, las diversas comunidades vegetales, diferenciadas en las tres regiones fisiográficas según el Índice de Equitatividad de Pielou se definen como muy diversas al reportar valores superiores a 0.75.

Cuadro 7: Resumen del cálculo de índices de diversidad alfa por comunidad vegetal, parte alta de la cuenca del río Nahualate.

Región Fisiográfica/Código de Unidad climática	Código de comunidad vegetal (parcelas de similitud)	Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ )	Índice de equitatividad de Pielou $\epsilon$	Condición	Riqueza de especies (S)	Logaritmo natural de la Riqueza (LnS)	
Región fisiográfica (I)	1.3	C1 (1-5,15)	3.59	0.972	Muy diversa	40	3.69
		C2 (6-14)	4.44	0.948	Muy diversa	108	4.68
	1.5	C1 (1-5)	4.43	0.964	Muy diversa	99	4.60
		1.6	C1 (1-6,11-18)	4.59	0.939	Muy diversa	132
	C2 (7-10))		3.81	0.973	Muy diversa	50	3.91
	1.7	C1 (1,2,4,6-13)	4.41	0.970	Muy diversa	94	4.54
		C2 (3,5)	0.64	0.918	Muy diversa	2	0.69
	1.8	C1 (1-4,6-12)	4.66	0.953	Muy diversa	133	4.89
		C2 (5,13-20)	3.24	0.953	Muy diversa	30	3.40
	1.11	C1 (1,3,7)	3.82	0.987	Muy diversa	48	3.87
		C2 (2,4-6)	4.53	0.974	Muy diversa	105	4.65
	1.12	C1(1,2,5,7,8)	4.14	0.969	Muy diversa	72	4.28
		C2 (3,4,9-12)	3.72	0.969	Muy diversa	42	3.74
	1.13	C1 (1-4)	1.79	1.000	Muy diversa	6	1.79
C2 (5-8)		3.63	0.964	Muy diversa	43	3.76	
Región Fisiográfica (II)	C1 (1,2)	3.21	0.984	Muy diversa	26	3.26	
	C2 (3-5)	3.44	0.977	Muy diversa	34	3.53	
Región Fisiográfica (III)	C1 (1-3)	3.64	0.974	Muy diversa	42	3.74	
	C2 (4,5)	2.65	0.978	Muy diversa	15	2.71	

### Referencias del cuadro:

- 1.3 = Tierra Altas Volcánicas- Bosques latifoliados, montano del nivel inferior  
 1.5 = Tierras altas volcánicas, Bosques latifoliados, montano del nivel superior  
 1.6 = Tierras altas volcánicas, Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior  
 1.7 = Tierras altas volcánicas, Bosques latifoliados, altimontanos  
 1.8 = Tierras altas volcánicas, Bosques mixtos con pino, altimontanos  
 1.11 = Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por bosque mixto  
 1.12 = Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, 25-50%  
 1.13= Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, mayor al 50%  
 C1 y C2 = comunidad vegetal 1 y 2 definidas en unidades climáticas y/o regiones fisiográficas

En el área de estudio denominado como la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate existen 8 unidades climáticas en la Región Tierras altas Volcánicas bien diferenciadas por 2 comunidades vegetales en cada una según registros del cuadro 7. Estas comunidades vegetales como se ha indicado en párrafos anteriores son muy diversas y muy estables en cuanto a diversidad vegetal. En las Regiones Fisiográficas II y III únicamente se diferenciaron 2 comunidades vegetales cada una, pero las mismas con mucha diversidad y riqueza florística.

#### 4.3.4. Diversidad beta del área de estudio

##### a. Descripción general

Al procesar la información de diversidad general de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate se diferenciaron 19 comunidades vegetales en total, 15 comunidades de la región de Tierras Altas Volcánicas, 2 comunidades en la Región Pendiente Volcánica Reciente, y 2 comunidades vegetales en la Región Llanura Costera del Pacífico, las que se detallan en los cuadros 8 y 9.

La diversidad de especies de árboles que dominan en las comunidades florísticas diferenciadas en la región de Tierras Altas Volcánicas suman 14 especies y 10 especies de arbustos, según se detalla en el cuadro de composición florística dominante de las comunidades florísticas diferenciadas.

Las especies con los mayores valores de IVI en las comunidades florísticas diferenciadas y más frecuentes son nueve. En orden de mayor frecuencia se citan *Rhamnus discolor* y *Alnus jorullensis* figuran en cuatro comunidades; *Trema micranta*, *Clethra mexicana*, *Garrya laurifolia*, *Holodiscus argenteus*, *Fuchsia microphylla*, *Oreopanax xalapensis* y *Oreopanax peltatus* figuran en dos comunidades.

##### b. Denominación de comunidades vegetales

En los cuadros 8 y 9, se registran las comunidades vegetales definidas y las especies de mayor peso ecológico que le dan nombre a dichas comunidades, tales comunidades son: I.3-B con 108 especies en total, I.6-A con 132 especies en total, I.8-A con 147 especies en total, I.11-B Y I.12-Ba con 105 especies respectivamente.

Es de resaltar que en la Región Tierras Altas Volcánicas se definieron 15 comunidades vegetales y que las especies de mayor valor de importancia corresponden a 33 especies.

En la Región Pendiente Volcánica Reciente se determinaron 2 comunidades florísticas y las especies de mayor valor ecológico corresponden a 6.

En la Región Llanura Costera del Pacífico, únicamente se definieron 2 comunidades florísticas y las especies de mayor valor ecológico corresponden a 6.

En total son 45 especies registradas como de mayor valor ecológico.

Cuadro 8: Resumen de las especies de mayor valor ecológico por comunidad vegetal en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Región fisiográfica	Unidad climática	Comunidad florística	Especies con mayor valor ecológico/denominación de comunidades	IVI (%)	Σ	N° especies evaluadas
Tierras Altas Volcánicas (I)	I.3	A	<i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith <i>Rondeletia cordata</i> Benth. <i>Monstera Friedrichsthali</i> Schott,	7 5 4	17	40
		B	<i>Trema micranta</i> (L.) Blume <i>Dahlia imperialis</i> Roez. ex Ortgies in Regel <i>Calliandra grandiflora</i> (L'Hér.) Benth. in Hook.	4 3 2		
	I.5	A	<i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith <i>Smilax jalapensis</i> Schlecht. <i>Alnus jorullensis</i> HBK:	3 3 2	8	99
			<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride <i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith <i>Garrya laurifolia</i> Hartweg ex Benth.	3 3 2		
	I.6	B	<i>Fuchsia arborescens</i> Sims. <i>Hauya</i> sp2 <i>Heliocarpus Donnell-Smithii</i> Rose in Bonn. Smith,	5 4 4	12	50
			<i>Smilax jalapensis</i> Schlecht. <i>Fuchsia splendens</i> Zucc. <i>Solanum appendiculatum</i> H. & B. ex Dunal	3 2 2		
	I.7	B	<i>Sinardisia</i> sp. <i>Heliopsis buphthalmoides</i> (Jacq.) Dunal	67 33	100	2
			<i>Verbesina apleura</i> Blake <i>Monnina xalapensis</i> HBK. <i>Salvia cinnabarina</i> Mart. & Gal.	3 2 2		
	I.8	B	<i>Wigandia urens</i> (R. & P.) HBK. <i>Lobelia</i> sp. <i>Smilax jalapensis</i> Schlecht.	8 7 7	21	44

Referencia: A y B son comunidades vegetales definidas por unidad climática

Cuadro 9: Resumen de las especies de mayor valor ecológico por comunidad vegetal en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Región fisiográfica	Unidad climática	Comunidad florística	Especies con mayor valor ecológico	IVI (%)	Σ	N° especies evaluadas	
Tierras Altas Volcánicas (I)	I.11	A	<i>Alnus jorullensis</i> HBK: <i>Coriaria thymifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. <i>Gnaphalium</i> sp	4 4 4	11	48	
		B	<i>Schoepfia</i> sp. <i>Tillandsia guatemalensis</i> L. B. Smith <i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	2 2 2			7
	I.12	A	<i>Alnus jorullensis</i> HBK: <i>Coriaria thymifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. <i>Gnaphalium</i> sp	4 4 4	11	48	
		B	<i>Schoepfia</i> sp. <i>Tillandsia guatemalensis</i> L. B. Smith <i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	2 2 2			7
	I.13	A	<i>Anthurium fraternum</i> Schott, <i>Arpophyllum spicatum</i> La Llave & Lex. <i>Chusquea</i> sp.	17 17 17	50	6	
		B	ND <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertoloni <i>Bursera Simaruba</i> (L.) Sarg. Gard. & For.	7 5 4			16
	Pendiente Volcánica Reciente (II)	II.13 y II.14	A	ND <i>Helicarpus Donnell-Smithii</i> Rose in Bonn. Smith, <i>Acrocomia mexicana</i> Karwinsky ex. Mart.	7 5 4	16	26
			B	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda, <i>Tabebuia</i> sp.	6 6 6		
	Llanura costera del pacífico (III)	III.1, III.10 y III.14	A	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertoloni <i>Cocos nucifera</i> L. <i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don	4 4 4	13	42
			B	<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Muell. <i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda,	10 10 10		

Referencia: A y B son comunidades vegetales definidas por unidad climática

De manera general se hace una descripción resumida del comportamiento de cada una de las comunidades vegetales por Región Fisiográfica, que a continuación se presenta:

- La región fisiográfica I, es la que presenta la mayor diversidad de comunidades vegetales. El régimen de propiedad y el modelo de uso del territorio por los comunitarios son los factores que influyen en el mantenimiento de la diversidad.
- El modelo de uso del territorio, que consiste en el aprovechamiento de pequeñas áreas forestales (definida por el régimen minifundista) por medio de extracción selectiva o tala rasa y su posterior recuperación. Este modelo ha generado un modelo de paisaje integrado por diversidad de pequeñas áreas en diversos estados de sucesión ecológica.
- Este fenómeno de dinámica de uso y recuperación de las áreas forestales en la región fisiográfica, generan como resultado la alta diversidad de especies (promedio de 77 especies por comunidad y un máximo de 133 especies en la comunidad más diversa) y como consecuencia de comunidades vegetales en la parte alta de la cuenca del Río Nahualate.
- La región fisiográfica II, presenta la mayor proporción de sustitución de la vegetación forestal original, por plantaciones de cultivos permanentes (banano, café y cítricos principalmente) y plantaciones forestales uniespecíficas.
- La diversidad de especies (26 a 34 especies en las dos comunidades diferenciadas) se concentra en los remanentes de bosque natural, factor que influye en la reducida diversidad de comunidades vegetales diferenciadas.
- La región fisiográfica III, es la más deteriorada al haberse cambiado la cobertura forestal original, por cultivos de caña de azúcar (anteriormente por algodón), potreros para uso ganadero y cultivo de hule, como usos dominantes en grandes extensiones. Lo anterior ha generado un paisaje dominado por uso agrícola-ganadero con islas o remanentes de bosque original.
- Estos remanentes además presentan condiciones de deterioro, por el uso intensivo como fuente de bienes y servicios ecosistémicos tradicionales de parte de comunitarios de poblados periféricos.
- El contexto referido, explica la reducida diversidad (15 a 42 especies) en las dos comunidades vegetales diferenciadas en las áreas forestales remanentes en la región fisiográfica III.

### c. Descripción de comunidades vegetales por unidad climática

#### (a) Unidad climática I.3: Tierra Altas Volcánicas- Bosques latifoliados, montano del nivel inferior

Para esta unidad climática se generó el dendrograma de la figura 26, en donde la línea de cese define dos comunidades florísticas (A y B), siendo el mayor valor de distancia de correlación (5.98) entre los puntos de muestreo 1 y 6. En esta unidad se muestrearon 15 puntos que permitió registrar un total de 133 especies vegetales.

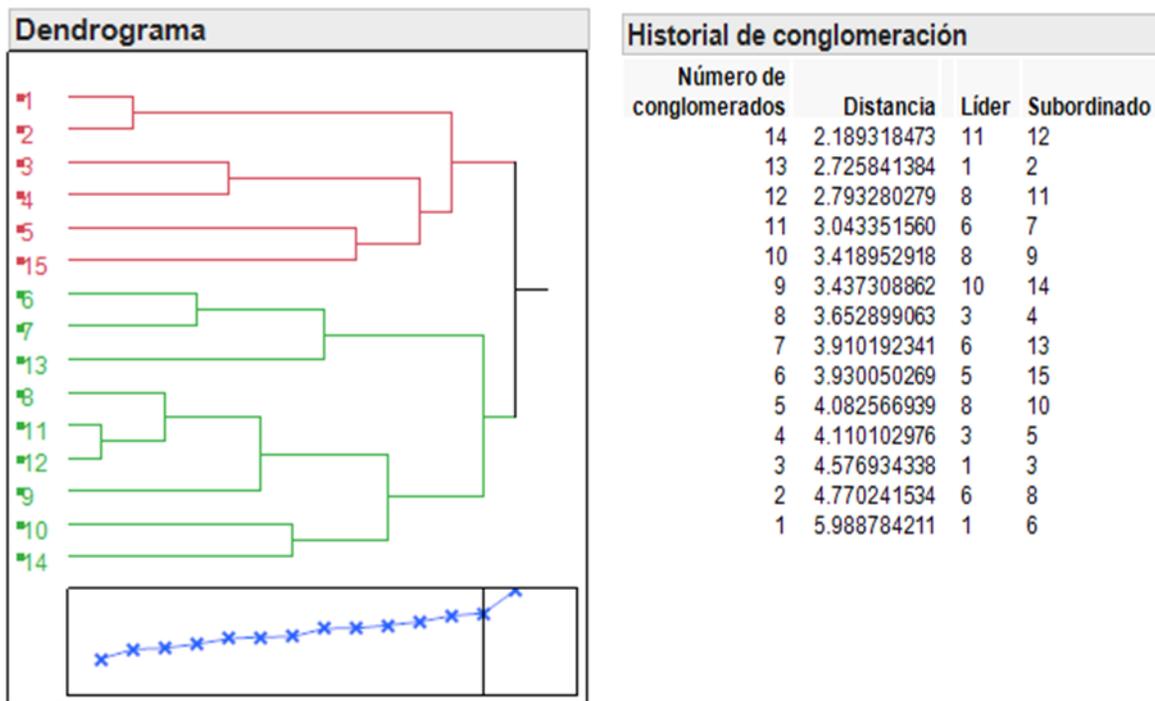


Figura 26: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.3, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

**(b) Unidad climática I.5: Tierras altas volcánicas, Bosques latifoliados, montano del nivel superior**

En esta área se muestrearon 5 puntos, en donde se registraron un total de 99 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo en función de las especies, se determinó una comunidad florística como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones en la figura 27.

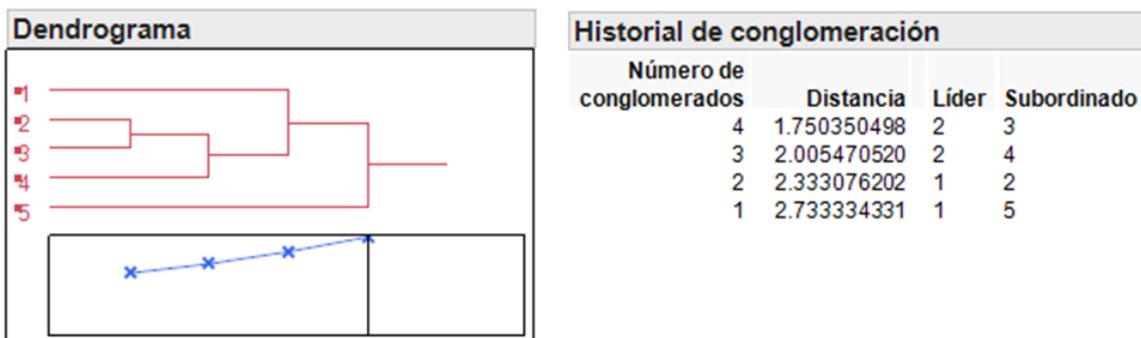


Figura 27: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.5, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La figura 27 ilustra el comportamiento de la diversidad de los puntos de muestreo, indicando que hay un buen grado de homogeneidad respecto de la diversidad florística.

**(c) Unidad climática I.6: Tierras altas volcánicas, Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior**

Según la figura 28 en esta área se muestrearon 18 puntos y se registraron en total 151 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo vr las especies, se definieron 2 comunidades florísticas.

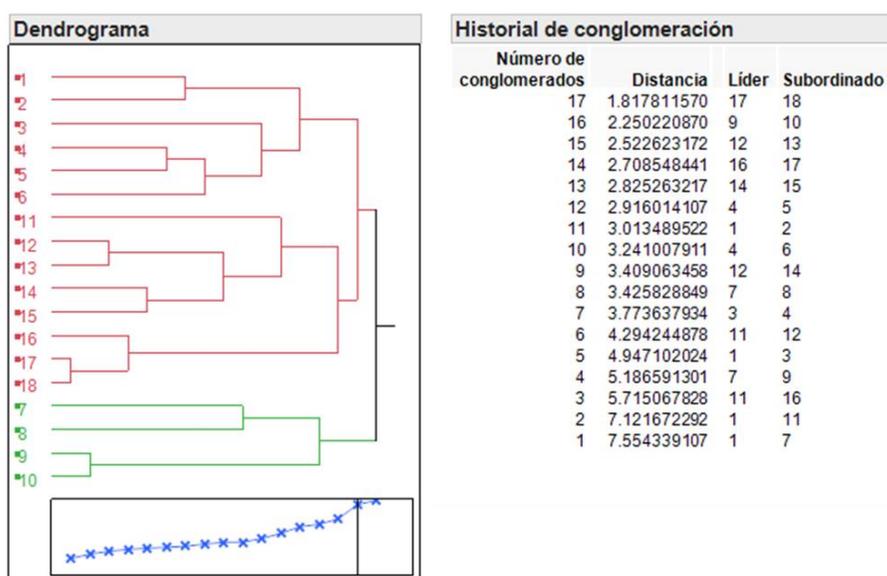


Figura 28: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.6, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

El valor 7.55 indica heterogeneidad entre los puntos de muestreo 1 y 7 por lo que estas lideran dos comunidades florísticas, específicamente a un nivel de cese 2.

**(d) Unidad climática (I.7) Tierras altas volcánicas, Bosques latifoliados, altimontanos**

En esta área se muestrearon 13 puntos, se registraron un total de 56 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo en relación a las especies, se determinó una comunidad florística como se observa en el dendrograma y el historial de conglomeración en la figura 29.

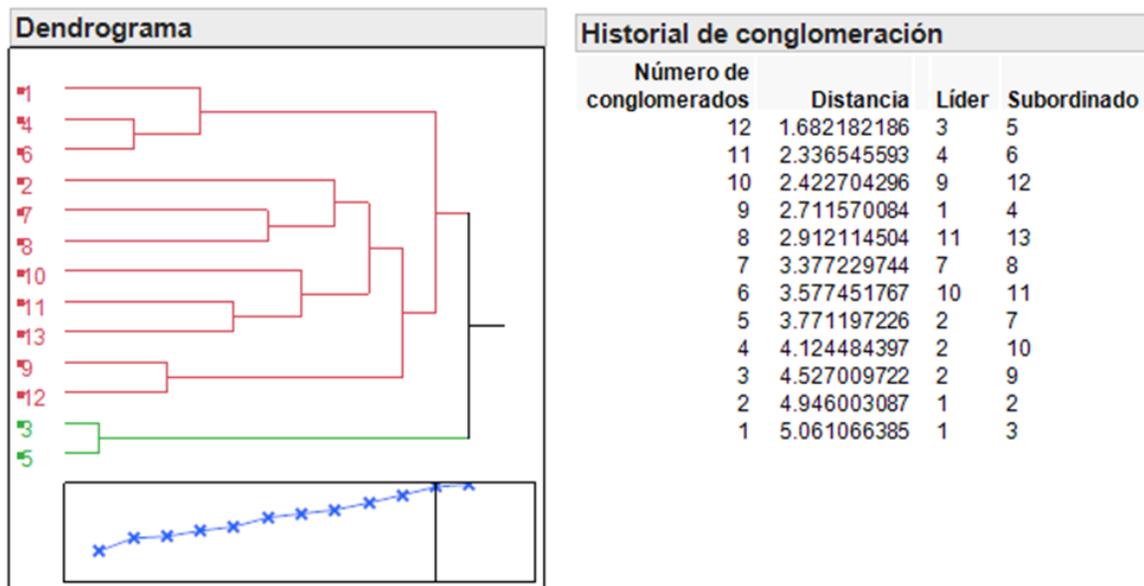


Figura 29: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.7, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

En la figura del dendrograma arriba, el valor 5.06 indica heterogeneidad entre las parcelas 1 y 3, las que determinan la separación de dos comunidades florísticas.

**(e) Unidad climática (I.8) Tierras altas volcánicas, Bosques mixtos con pino, altimontanos**

En esta área se muestrearon 20 puntos y se registraron un total de 70 especies vegetales. Para esta área se determinaron 2 comunidades florísticas como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones en la figura 30.

Las mayores distancias se dieron entre los asociados de los puntos de muestreo 1 y 5 los cuales, definen las comunidades diferenciadas.

Además, dicha unidad climática ha sido fragmentada por las siguientes razones: según don Abimael Baldomero de Santa Clara La Laguna, y que posee tierras en el área evaluada, en el año 1982 ocurrió un incendio forestal que devastó la vegetación, esto permitió la fragmentación del bosque y el cambio en su forma de crecimiento y la intervención humana tales como la tala del bosque con fines de extracción de leña y madera aserrada, ambas, han influido en la diferenciación de comunidades vegetales.

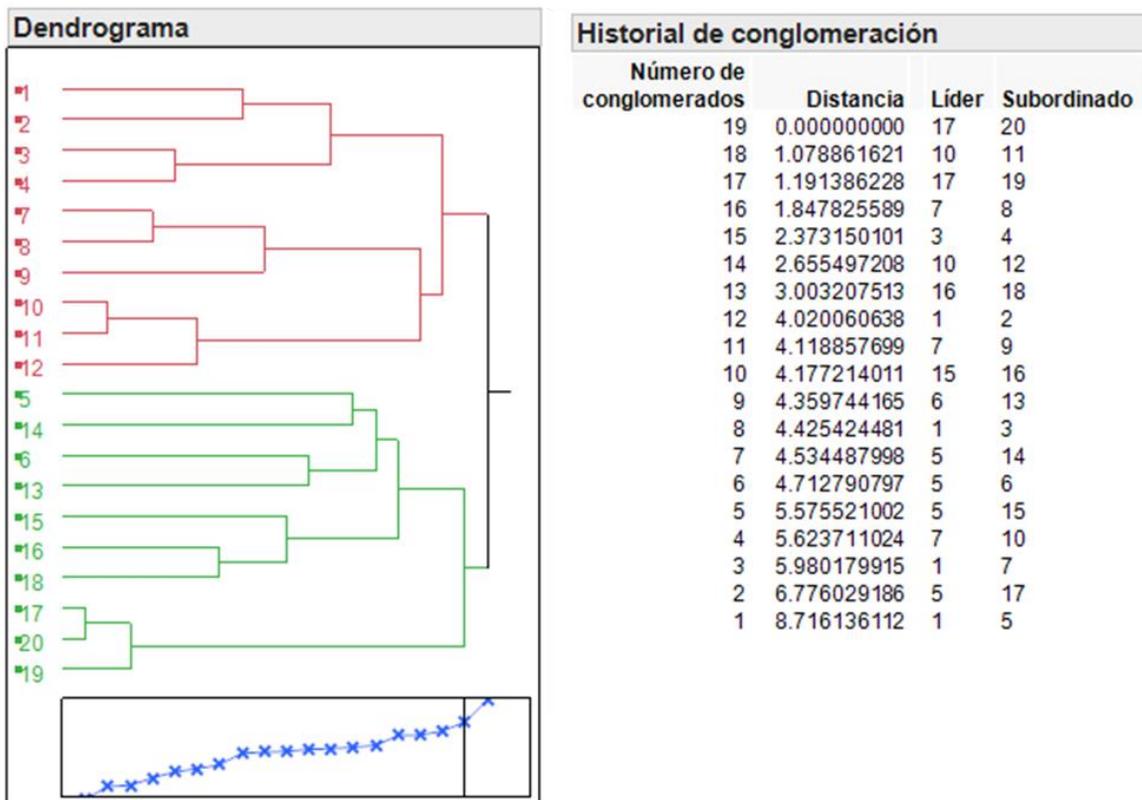


Figura 30: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática 1.8, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

**(f) Unidad climática (I.11) Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por bosque mixto**

En esta área se muestrearon 7 puntos y se registraron 138 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo versus las especies, se determinaron 2 comunidades florísticas como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones de la figura 31.

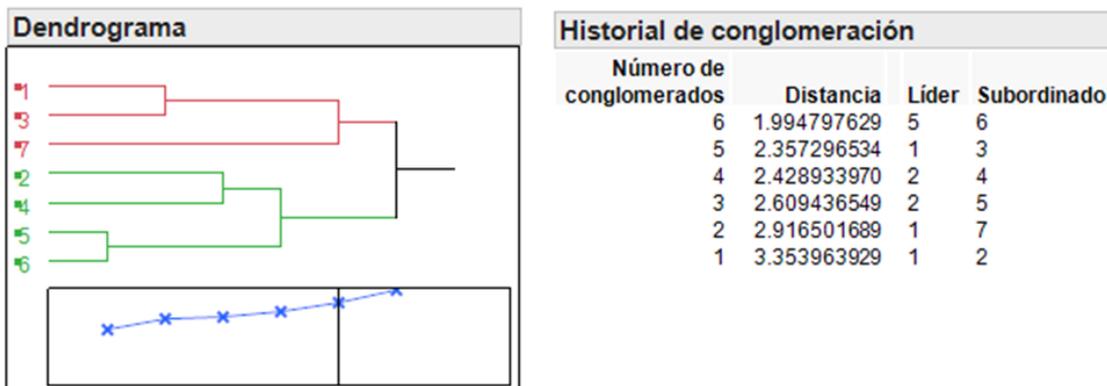


Figura 31: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.11, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La figura 31 además permite inferir que hay homogeneidad entre los puntos evaluados, comportamiento que se pudo observar en el campo. La parcela 1, 3 y 7 pertenecen a un mismo rango altitudinal que va de 2500 a 3000 msnm, las parcelas 2, 4, 5 y 6 corresponden a un mismo rango altitudinal 2000 a 2500 msnm, por otro lado, las parcelas evaluadas tienen varias especies en común, tales como, *Alnus jourullensis* HBK., *Dahlia imperialis* Roetzl. ex Orgties in Regel, *Fuchsia microphylla* HBK., *Hauya* sp2 y *Schoepfia* sp.

**(g) Unidad climática (I.12) Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, 25-50%**

En esta área se muestrearon 12 puntos y se registraron un total de 104 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo versus las especies, se determinaron 2 comunidades florísticas como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones de la figura 32.

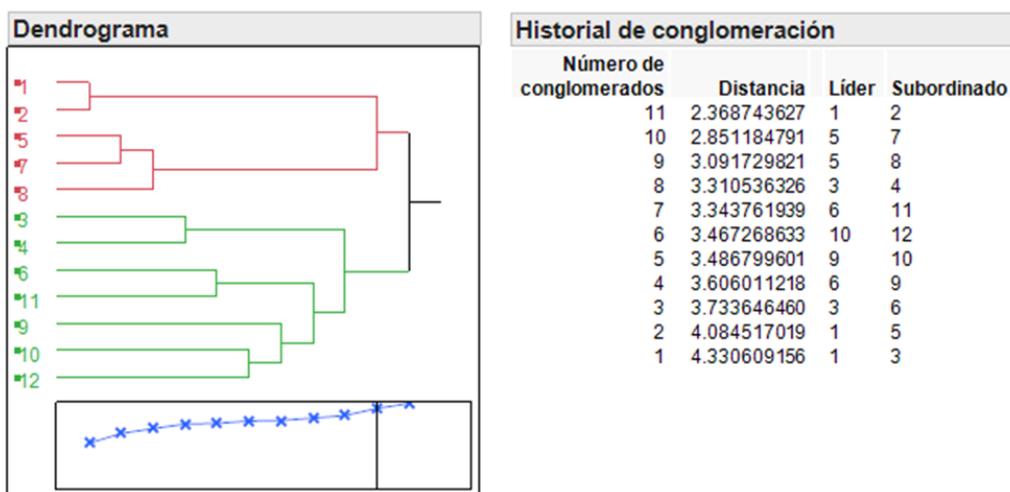


Figura 32: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.12, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

El valor 4.33 indica heterogeneidad entre los puntos de muestreo 1 y 3 por lo que estas lideran dos comunidades florísticas, específicamente a un nivel de cese 2.

**(h) Unidad climática (I.13) Tierras altas volcánicas, Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y cacao, y cardamomo, más del 50%**

En esta área se muestrearon 8 puntos y se registraron un total de 49 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo vr las especies, se determinaron 2 comunidades florística como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones en la figura 33.

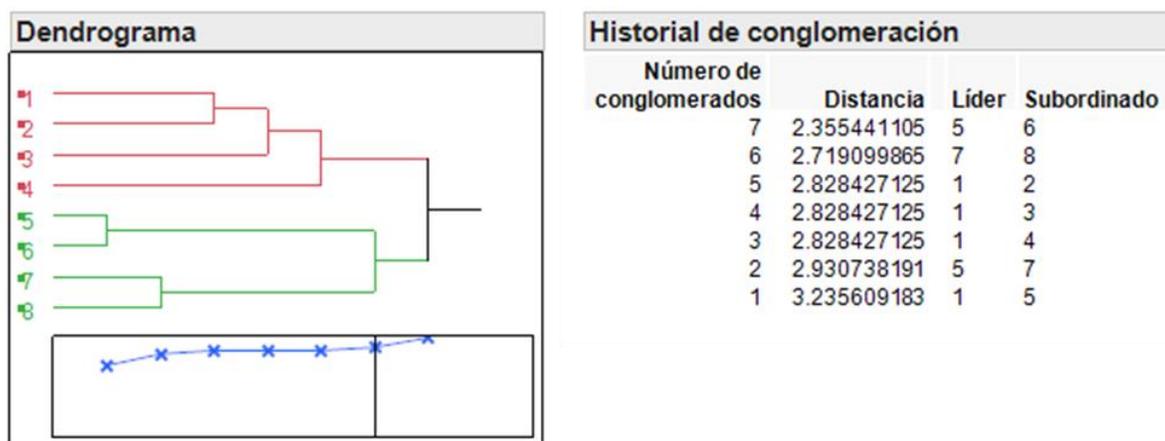


Figura 33: Dendrograma e historial de conglomeración para la unidad climática I.13, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La figura 33 muestra que en el nivel de cese 2 se agrupan dos comunidades florísticas por la afinidad que hay entre las unidades muestrales. El valor 3.23 del historial de conglomeración indica heterogeneidad entre los puntos 1 y 5 por lo que éstas, lideran dos comunidades vegetales.

**(i) Unidad climática II.13 y II.14 (Región Fisiográfica II) :**

Las unidades climáticas II.13 y II.14 dentro de la Región Fisiográfica II se unificaron para realizar el análisis de similitud. De tal forma que en la Región Fisiográfica II se evaluaron 5 puntos de muestreo y se registró un total de 55 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo vr las especies, se determinaron 2 comunidades florística como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones en la figura 34.

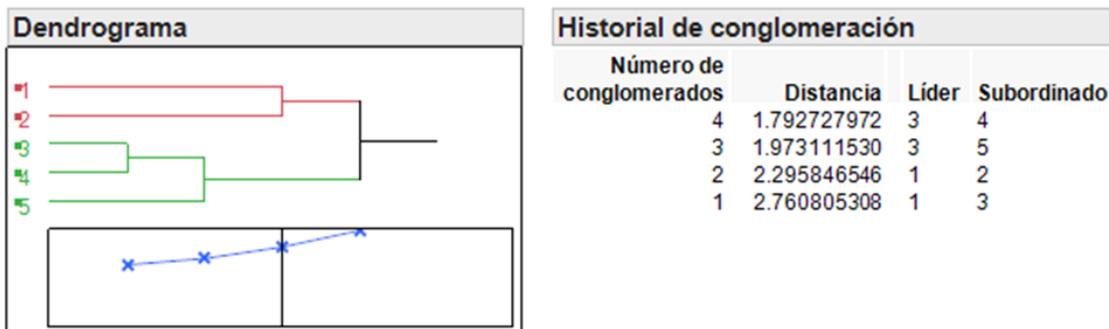


Figura 34: Dendrograma e historial de conglomeración para la Región Fisiográfica II, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La figura 34 muestra que en el nivel de cese 2 se agrupan dos comunidades florísticas por la afinidad que hay entre las unidades muestrales. El valor 2.76 del historial de conglomeración indica heterogeneidad entre los puntos 1 y 3 por lo que estas lideran las dos comunidades diferenciadas.

**(j) Unidad climática III.1, III.10 y III.14 (Región Fisiográfica III) :**

Las unidades climáticas III.1, III.10 y III.14 dentro de la Región Fisiográfica III se unificaron para realizar el análisis de similitud. Para esta región se evaluaron 5 puntos de muestreo y se registró un total de 44 especies vegetales. Al realizar el análisis de correlaciones de los puntos de muestreo vr las especies, se determinaron 2 comunidades florística como se observa en el dendrograma y el historial de fusiones en la figura 35.

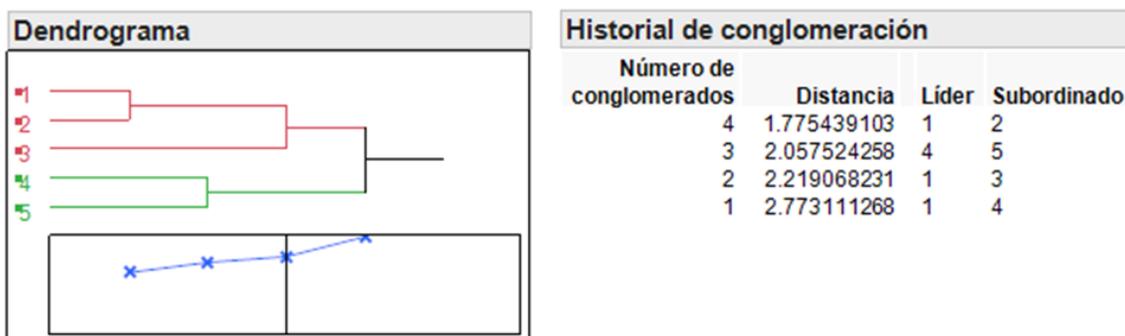


Figura 35: Dendrograma e historial de conglomeración para la Región Fisiográfica III, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La figura 35 muestra que en el nivel de cese 2 se agrupan dos comunidades florísticas por la similitud de los puntos de muestreo en función de su diversidad vegetal. El valor 2.77 del historial de conglomeración indica heterogeneidad entre los puntos 1 y 4 por lo que estas lideran las dos comunidades vegetales.

#### 4.3.5. Descripción de los usos de la composición florística

Para los usos de la diversidad de vegetación en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, se han definido once categorías de usos como se registra en el cuadro 10. Se ha valorado la frecuencia de especies por cada clase de uso y estimado la proporción de especies útiles en relación al total de especies halladas. En el cuadro 10 se detalla la caracterización cuantitativa de los usos de la vegetación, información deducida de la base general de datos y se ubica en el siguiente link: ([https://www.dropbox.com/preview/Base%20datos%20general\\_usos%20vegetal\\_final.xlsx?role=person](https://www.dropbox.com/preview/Base%20datos%20general_usos%20vegetal_final.xlsx?role=person) al).

Cuadro 10: Resumen de los usos de la diversidad florística del área evaluada, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Variables analizadas	TOTAL DE FAMILIAS	Especies		Usos de las plantas											Fuente de información	
		Total de especies	Total de especies útiles	Alimento o consumo humano	Alimento fauna silvestre y doméstica	Medicinal	Colorante-Mordiente-Tanino	Ornamental o ceremonial	Maderable	Leña	Fibra artesanal	Recurso fitogénico: pariente silvestre	Saponífero	Sombra de café	Referencias bibliográficas <sup>3</sup>	Informante clave (comunitario) <sup>4</sup>
valores absolutos	112	392	219	53	67	73	32	40	44	33	14	2	3	16	271	135
% del total de especies			56	13	17	19	8.1	10	11	8	4	1	1	4		
% del total de especies útiles				24	31	33	15	18	20	15	6	1	1	7		

Es relevante que tres de cada cinco especies reportadas en la evaluación, tienen uno o más usos locales dentro de la cuenca del Río Nahualate.

Los usos para medicinal y alimento de fauna silvestre y doméstica, son los dominantes y al sumar sus valores, corresponde al 64% de las especies útiles. Los usos definidos como alimento o consumo humano y los usos maderables son los que predominan en segundo plano, involucrando al 44% de las especies útiles.

#### 4.4. Calendario Fenológico de las principales especies que definen la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

##### 4.4.1. Descripción fenológica de la vegetación arbórea

En el área de evaluación denominada como parte alta de la cuenca del Río Nahualate, el comportamiento de las especies evaluadas según su estado fenológico, varía de diferente manera. El cuadro 11 muestra

<sup>3</sup> Referencias bibliográficas: (Azurdia, 2016), (Barreno Ortiz, 2010), (CONAP, 2008), (Godínez, S. M.; Carasco M., C. M.; Basilio J., I. M., 2013), (Godínez, 2013), (Matías Mauricio, F. D.; Godínez, S. M., & Bulux A., D. G., 2014), (Méndez Guerrero, 2008), (Reiche, 2015) y (Standley & Steyermark, 1947-1977).

<sup>4</sup> Informantes claves: Daniel Tzep de Nueva Santa Catarina Ixtawacan (cel. 31282490), Víctor Hugo De León de Cantón Poxlaju, To tonicapan (cel. 51800314), Abimael Baldomero Rojas de Santa Clara La Laguna (Cel. 55876833), Carlos Benjamín Ambrosio Ajanel de Nahuala (cel 416502129 y Juan Rosario Aju de Cacerío Chuicham, Santa Catarina Ixtawacan antiguo.

que en el mes de diciembre el 39.20% del total de especies evaluadas presentan brotes, el 48.08% del total de especies presentan flores, el 34.75% del total de especies evaluadas presentan flores y frutos al mismo tiempo. En cambio el 42.86% del total de especies evaluadas presentan frutos y semillas a la vez en el mes de septiembre. En términos generales es regular los cuatro estados fenológicos en septiembre, octubre, diciembre y marzo, no sí en noviembre y enero.

Cuadro 11: Resumen del comportamiento fenológico de las especies de árboles en porcentaje en función de los meses evaluados.

Mes	Brotes	Flores	Flores-frutos	Frutos-semillas
<b>Septiembre 2016</b>	16.63	11.54	19.15	42.86
<b>Octubre 2016</b>	21.80	5.77	6.38	0.00
<b>Noviembre 2016</b>	1.72	7.05	7.80	0.00
<b>Diciembre 2016</b>	39.20	48.08	34.75	35.71
<b>Enero 2017</b>	4.02	5.77	7.80	0.00
<b>Marzo 2017</b>	16.63	21.79	24.11	21.43

En la figura 36 se visualiza que en los meses de noviembre y diciembre se registraron el mayor porcentaje de especies con presencia de flores y con presencia de frutos y semillas a la vez. Además se observa que únicamente en octubre y enero se registraron especies con flores y frutos a la vez.

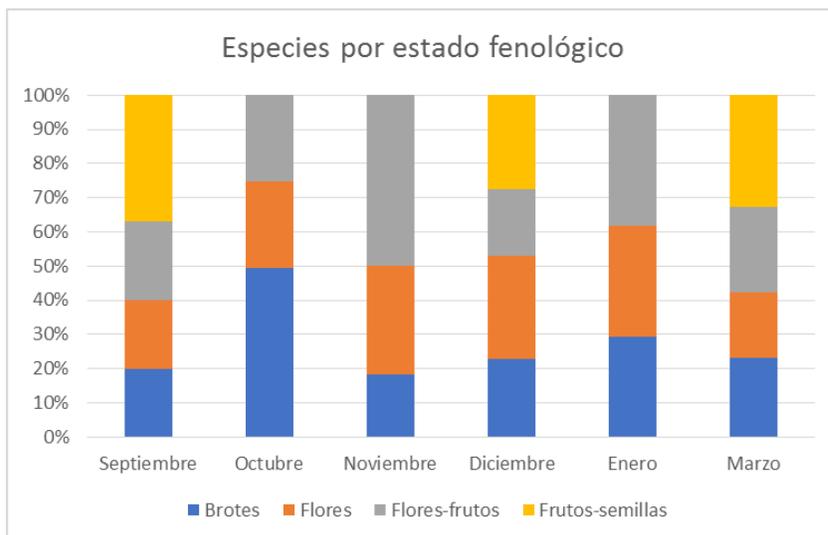


Figura 36: Comportamiento de las especies arbóreas según su condición fenológica en los meses evaluados, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

La mayor diversidad de especies en floración en relación al total de especies de árboles para cada mes, según la figura 36 se concentra en los meses de noviembre, diciembre y enero.

El cuadro abajo muestra el listado de las especies que se registraron con mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas:

Cuadro 12: Especies arbóreas con mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas evaluadas.

Condición fenológica	Nombre de las especies	% del total
Mayor brotes	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	5
	<i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith	4
	<i>Alnus jorullensis</i> HBK:	4
	<i>Rapanea myricoides</i> (Slecht.) Lundell	4
	<i>Heliocarpus Donnell-Smithii</i> Rose in Bonn. Smith,	3
	<i>Oreopanax xalapensis</i> (HBK.) Dene. & Planch.	3
	<i>Prunus</i> sp.	3
	<i>Quercus acatenangensis</i> Trelease	3
	<i>Clethra mexicana</i> A. DC.	3
	<i>Garrya laurifolia</i> Hartweg ex Benth.	3
	<i>Quercus peduncularis</i> Née.	3
Mayor Floración	<i>Trema micranta</i> (L.) Blume	11
	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> La reategui,	7
	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken	5
Mayor frutos-semillas	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	15
	<i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith	9
	<i>Oreopanax xalapensis</i> (HBK.) Dene. & Planch.	5
Mayor floración-fructificación	<i>Saurauia subalpina</i> Bonn.	31
	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	25

Según el cuadro 12, son 11 las especies que presentaron mayores porcentajes de brotes del total registrado, dicho de otra forma estas corresponden al 39% del total de las especies.

Las especies más dominantes en floración fueron 3, y corresponden al 23% del total de las especies. En cuanto a las especies más dominantes en frutos y semillas a la vez fueron 3, y corresponden al 28% del total de las especies con esta condición fenológica y únicamente 2 especies fueron las de mayor porcentaje con floración y fructificación a la vez y corresponden al 56% del total de las especies registradas con esta condición fenológica.

#### 4.4.2. Descripción fenológica de la vegetación arbustiva

Es importante describir el comportamiento fenológico de la vegetación arbustiva, aunque no es una forma de crecimiento de mayor influencia en la vegetación como el caso de las especies arbóreas. El cuadro 13 registra que el 45.87% de las especies evaluadas se encontraron con brotes en el mes de Diciembre, en el mismo mes el 56.69% del total de las especies presentaron flores y el 44.44% presentaron flores y frutos

a la vez, finalmente se deduce que el comportamiento en cuanto a presencia de frutos y semillas a la vez en la vegetación arbustiva se mantiene regular en los meses de septiembre, octubre, diciembre y enero.

Cuadro 13: Resumen del comportamiento fenológico de las especies arbustivas en porcentaje en función de los meses evaluados

Mes	Brotos	Flores	Flores-frutos	Frutos-semillas
<b>Septiembre 2016</b>	21.33	14.53	28.89	58.62
<b>Octubre 2016</b>	12.80	3.20	0.00	13.79
<b>Noviembre 2016</b>	3.73	8.14	8.89	0.00
<b>Diciembre 2016</b>	45.87	56.69	44.44	20.69
<b>Enero 2017</b>	12.27	11.05	8.89	3.45
<b>Marzo 2017</b>	4.00	6.40	8.89	3.45

La figura 37 ilustra que a diferencia de la vegetación arbórea, en los meses de septiembre, noviembre, diciembre y marzo existen especies con mayor porcentaje de flores y frutos a la vez. Además, en el mes de septiembre se presenta el menor porcentaje de especies con presencia de flores mientras que la máxima floración se alcanza en los meses de noviembre, enero y marzo.

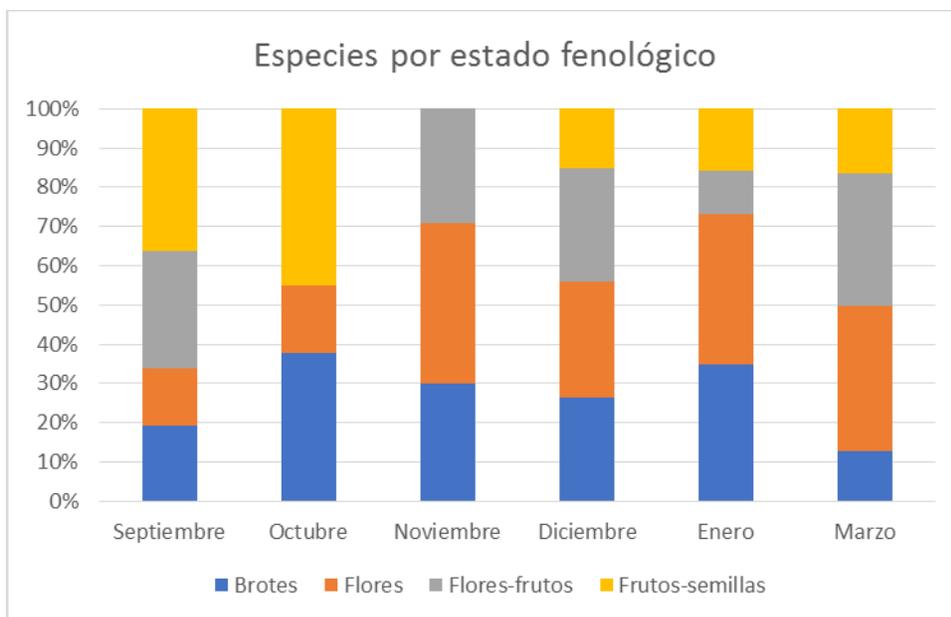


Figura 37: Comportamiento de las especies arbustivas según su condición fenológica en los meses evaluados, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

El cuadro abajo muestra el listado de las especies de mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas:

Cuadro 14: Especies arbustivas con mayor dominancia en las cuatro condiciones fenológicas evaluadas

Condición fenológica	Nombre de las especies	% del total
Mayor Brotes	Senecio petasioides Greenm. in Donn.-Sm.	5
	Senecio cobanensis (Coultter) Grenm.	5
	Senecio gilgii Greenm.	5
	Oreopanax peltatus Linden ex Regel,	4
	Urera caracasana (Jacq.) Griseb.	3
	Garrya laurifolia Hartweg ex Benth.	3
Mayor floración	Dahlia imperialis Roezl. ex Ortgies in Regel	8
	Fuchsia microphylla HBK.	7
	Verbesina apleura Blake	6
	Hauya sp2	4
	Calliandra grandiflora (L'Hér.) Benth. in Hook.	4
Mayor frutos-semillas	Buddleia nitida Benth. & DC.	9
	Musa sapientum L.	7
	Phytolacca icosandra L.	7
	Solanum fontium Standl. & Steyererm.	7
Mayor flores-frutos	Monnina xalapensis HBK.	17
	Lycianthes chiapensis (Brandeggee)	14
	Fuchsia microphylla HBK.	10

En el cuadro 14, son 6 las especies que presentaron mayores porcentajes de brotes del total registrado, estas corresponden al 24% del total de las especies. Las especies más dominantes en floración fueron 5, y corresponden al 28% del total de las especies. En cuanto a las especies más dominantes en frutos y semillas a la vez fueron 4, y corresponden al 29% del total de las especies con esta condición fenológica y únicamente 3 especies fueron las de mayor porcentaje con floración y fructificación a la vez y corresponden al 41% del total de las especies registradas con esta condición fenológica.

#### 4.5. Selección, valoración y visualización cartográfica de grupos taxonómicos de flora sensibles al cambio climático, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte

En función de la información generada sobre especies bioindicadoras de cambio climático en otros países, especialmente España y México (apartado 1.3.1.b de la metodología en anexo) según Ferrio et al., 2003 citado por Valladares, Peñuelas, & de Luis Calagbuig, sf., se han seleccionado el grupo de especies por su similitud taxonómica y origen biogeográfico (ver cuadro 29F de anexo).

A los grupos taxonómicos indicados anteriormente, se les aplicó la valoración para la definición de su habilidad para considerarse un bioindicador de cambio climático, aplicando los criterios definidos para el

efecto (apartado 1.3.1.c. de la metodología en anexo). Los resultados de la valoración se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 15: Valoración de géneros y especies forestales como bioindicadores de cambio climático

N°	Género/especie forestal	Rango de distribución msnm*	Criterios de valoración						Total (21)	%	Estatus
			1	2	3	4	5	6			
1	<i>Quercus</i>	1160 - 2831	1	0	3	4	5	6	19	90.5	Mbi
2	<i>Pinus</i>	1574 - 3532	1	0	3	4	5	6	19	90.5	Mbi
3	<i>Alnus</i>	1968 - 3302	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
4	<i>Arbutus xalapensis</i>	1915 - 2813	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
5	<i>Bursera simarouba</i>	216 - 1715	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi

**Referencias:** 1: taxón con amplia distribución y presente en diferentes ecosistemas, 2: patrones de diversidad aplicables a otros taxa relacionados y no relacionados, 3: historia natural bien conocida, 4: abundantes y de fácil observación y manipulación, 5: taxonomía bien conocida, 6: taxa especializados y sensibles a cambios de hábitat. Estatus: Mbi: muy buen indicador, Nssi: no se sugiere como indicador.

El cuadro 15 registra los grupos taxonómicos tales como géneros *Quercus* y *Pinus* que fueron seleccionados para generar los escenarios futuros de cambio climático de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate por su alto valor de importancia y género *Alnus*, y las especies *Arbutus xalapensis* y *Bursera simarouba* se consideran como complementarios por sus características fisiológicas y de respuesta ambiental. Se incluyeron con el fin de complementar el panorama de distribución de la vegetación, pero se sugieren como indicadores ya que su valor de importancia no pasa del 74% según el criterio descrito en el numeral 1.3.1.c.(c) de la metodología presentada en anexo. Por otro lado, la figura 38 permite ilustrar la distribución general de las especies bioindicadoras de cambio climático en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

Estas especies se distribuyen desde la cadena volcánica hasta la bocacosta en el área evaluada. La mayoría de estas especies se distribuyen dentro la Región Fisiográfica Tierras altas volcánicas. Y mayormente distribuidas dentro de las unidades climáticas bosques latifoliados montanos del nivel inferior (1.3), Bosques mixtos con pino montano del nivel superior (1.6) y Bosques mixtos con pino altimontano (1.8).

Únicamente *Bursera simarouba*, se concentra actualmente en áreas que van de la Región Pendiente Volcánica Resiente y dominando más en la Región Llanura Costera del Pacífico. Por lo mismo se le ha tomado como una especie complementaria que permitió hacer un mejor análisis sobre las probabilidades ambientales para las especies en las regiones de la boca costa para cuatro escenarios a futuro (año 2050).

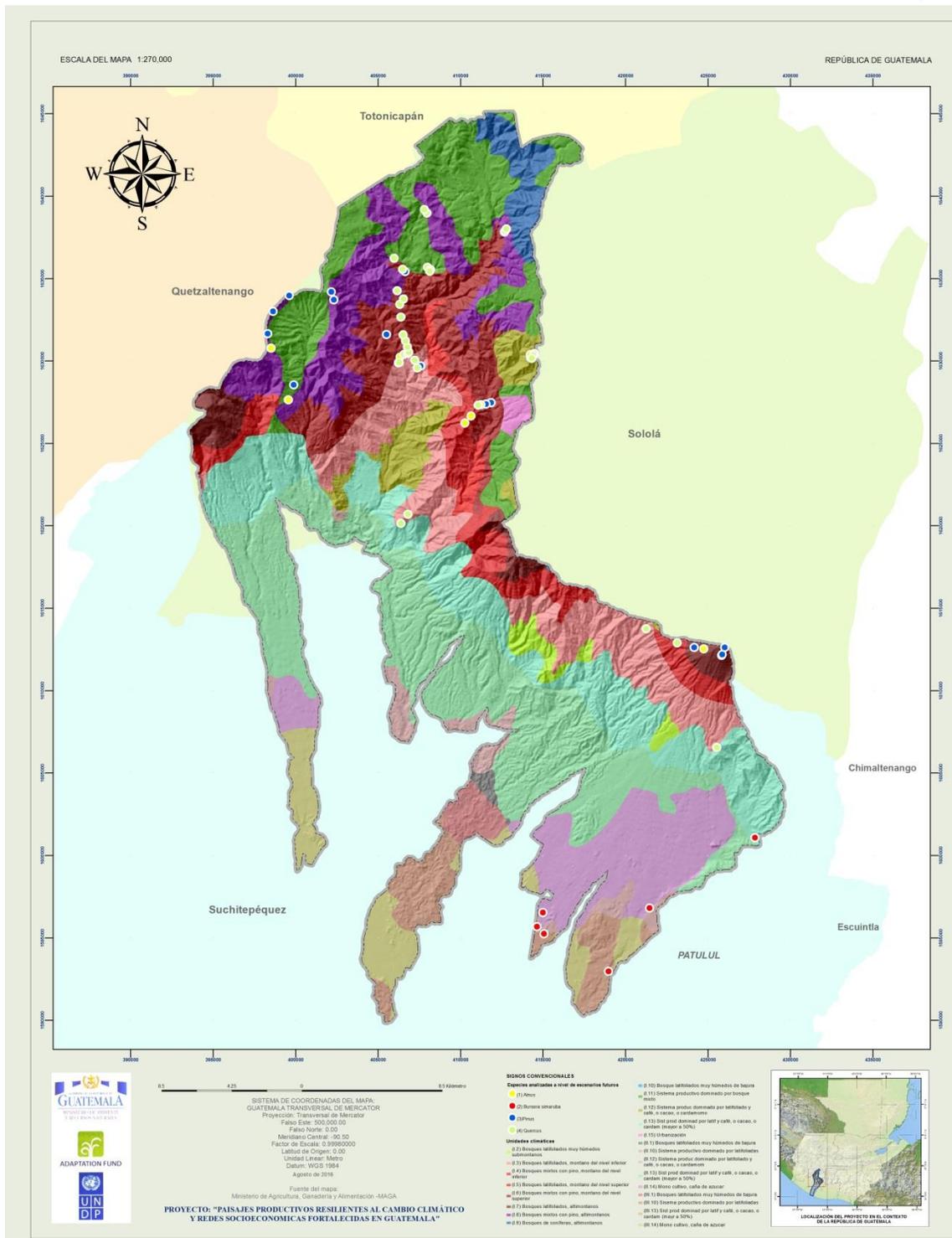


Figura 38: Mapa de distribución potencial actual de los grupos taxonómicos bioindicadores de cambio climático.

#### 4.6. Comportamiento de grupos taxonómicos bioindicadores en diferentes escenarios futuros de variación climática, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Los resultados de los diferentes escenarios se presentan por grupos taxonómicos o especies bioindicadoras seleccionadas a nivel de unidades climáticas en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate. Además se incluye un apartado sobre los ajustes de la modelización:

##### 4.6.1. Género *Quercus*

En el siguiente cuadro aparece el resumen del análisis de los valores de AUC (Área under curve = área bajo la curva), para evaluar el comportamiento de la modelización de MaxEnt para el grupo de datos de muestra y datos de prueba del género *Quercus* en cada uno de los escenarios.

Cuadro 16: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género *Quercus*

Escenario	AUC test de entrenamiento+	AUC test de prueba*		Predicción del modelo
		AUC	S	
RCP2.6	0.981	0.881	0.081	Moderadamente útil
RCP4.5	0.981	0.881	0.081	Moderadamente útil
RCP6.0	0.981	0.881	0.081	Moderadamente útil
RCP8.5	0.981	0.881	0.081	Moderadamente útil

Referencias: +: utilizando todas las variables \*Variables escogidas, S: desviación estándar

Los valores del AUC en el cuadro 16 de 0.881 no varía en el análisis de cada escenario, de acuerdo a los rangos de comparación según López A., D. 2014, un valor de AUC entre los rangos 0.70 a 0.90 se define como moderadamente útil, dicho de otra forma el modelado presenta una predicción moderadamente útil. Por otro lado la prueba de Jackknife de la figura 39 indica que los factores ambientales que influyen en la distribución futura del género, son la estacionalidad de la precipitación (bio15) y la precipitación del trimestre más caluroso (bio18). También influye en tercer orden la precipitación del trimestre más húmedo (bio16) (ver cuadro 27D de anexos).

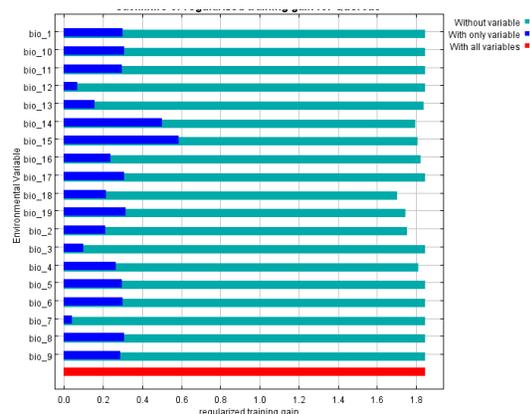


Figura 39: Contribución de factores ambientales en la modelización (prueba de Jackknife) para *Quercus*

Los escenarios futuros para el género *Quercus* se ilustran en las figuras 46C, 47D, 48E y 49F de anexo, las cuales, muestran la probabilidad de factores ambientales favorables en el futuro (año 2050) que definirán la distribución y desplazamiento del género. La información registrada en el cuadro 17 permite explicar dichos escenarios de la siguiente forma:

Cuadro 17: Comportamiento de la distribución del género *Quercus* para los cuatro escenarios, parte alta y media de la Cuenca del Rio Nahualate.

Código	Unidades climáticas	Escenario RCP2.6	Escenario RCP4.5	Escenario RCP6.0	Escenario RCP8.5
1.2	Bosques latifoliados muy húmedos submontanos				
1.3	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	++	++	++	++
1.4	Bosques mixtos con pino, montano del nivel inferior	++	++	++	
1.5	Bosques latifoliados, montano del nivel superior	+	+	++	++
1.6	Bosques mixtos con pino, montano del nivel superior	++	++	++	++
1.7	Bosques latifoliados, altimontanos		+		+
1.8	Bosques mixtos con pino, altimontanos				
1.9	Bosques de coníferas, altimontanos				
1.10	Bosque latifoliados muy húmedos de bajura				
1.11	Sistema productivo dominado por bosque mixto	++	+	+	+
1.12	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo	+	+	++	+
1.13	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)	++	++	++	++
	Factores que determinan la distribución futura	Bio 15,18	Bio 15,18	Bio 15,18	Bio15,18

Referencias: Interpretación de probabilidad de factores ambientales favorables para la especie en los mapas de escenarios: rojo = ++ (mayor probabilidad), rojo y amarillo = + (menor probabilidad)

Según el escenario RCP2.6 (ver figura 46C de anexo y cuadro 17), el patrón de distribución del género se mantiene con la distribución del escenario actual. Sin embargo, se manifiesta un corrimiento o retraimiento general. Manifiesta distribución óptima en las unidades climáticas 1.3, 1.4, 1.6, 1.11 y 1.13. También en las unidades climáticas 1.5 en el área de influencia de los volcanes Pecul, Zunil y San Pedro, en los cerros Pajpoj y Panam y en 1.12 en el área del Cerro Chuichioh y Patzunoj.

En el escenario RCP4.5 (ver figura 47D de anexo y cuadro 17) el patrón de distribución óptima del género se concentra en la zona de mayor pendiente de la cuenca en los territorios de Nahualá y Santa Catarina Ixtahuacán. Se manifiesta retraimiento en la parte alta. Las unidades climáticas con dominancia de distribución óptima del género son 1.3, 1.4, 1.6 y 1.13. La tendencia es a ocupar las exposiciones este y sur de la cuenca.

Para el escenario RCP6.0 (ver figura 48E de anexo) la distribución óptima se concentra en la parte media del Volcán Atitlán, en los cerros Pajpoj, Panam, Paquisis, Chuichioh y Patzunoj. Las unidades climáticas con dominancia de distribución óptima son 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.12 y 1.13. Se presenta un retraimiento de la parte alta y baja del área de distribución. Con tendencia a ocupar las exposiciones sur, este y suroeste. Tiene dominancia en la unidad 1.11 en Patzunoj área de influencia del ramal de Sierra Parraxquim.

En el escenario RCP8.5 (ver figura 49F de anexo) la distribución óptima se concentra en los sitios con altas pendientes y con exposiciones sur, este y suroeste. Presenta un patrón fragmentado y en ninguna unidad climática hay tendencia a una ocupación dominante. Tiende a desaparecer del área de las faldas de los volcanes de Atitlán, Pecul y Zunil. Las unidades climáticas con mayor área de distribución óptima son 1.3, 1.5, 1.6 y 13.

#### 4.6.2. Género Pinus

En el cuadro 18 se registra el resumen de los valores de AUC (Área Under Curve = área bajo la curva), para evaluar el comportamiento de la modelización de MaxEnt para el grupo de datos de muestra y datos de prueba del género *Pinus* en cada uno de los escenarios según vías de concentración de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 18: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género *Pinus*

Escenario	AUC test de entrenamiento+	AUC test de prueba*		Predicción del modelo
		AUC	S	
RCP2.6	0.978	0.926	0.010	Excelente
RCP4.5	0.978	0.926	0.010	Excelente
RCP6.0	0.978	0.926	0.010	Excelente
RCP8.5	0.978	0.926	0.010	Excelente

Referencias: +: utilizando todas las variables \*Variables escogidas, S: desviación estándar

Los valores del AUC en el cuadro 18 de 0.926 no varía en el análisis de cada escenario, de acuerdo a los rangos de comparación (López Alvarez, 2014), un valor de AUC mayor a 0.90 se define como excelente, dicho de otra forma el modelado presenta una predicción excelente para cada escenario.

En la figura 40 que ilustra gráficamente la prueba jackknife, los factores que determinan la distribución futura de la especie son la precipitación del trimestre más húmedo (bio16) y la isothermalidad (bio3). En orden de importancia el otro factor determinante es la precipitación del trimestre más frío (bio19). Los valores en estimaciones de contribuciones se pueden ver en el cuadro 27D de anexos.

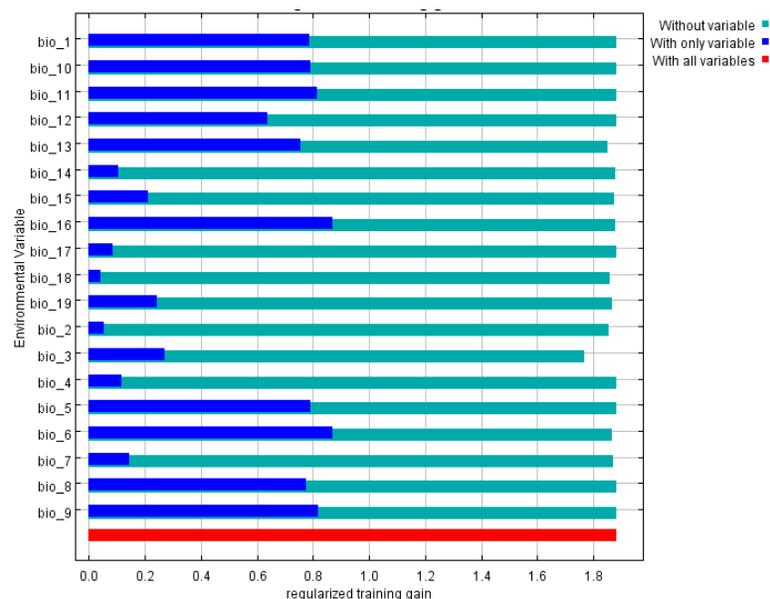


Figura 40: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para *Pinus*

Los escenarios futuros para el género *Pinus* se ilustran en las figuras 50G, 51H, 52I y 53J de anexos, las cuales, muestran por coloración desde el tono azul hasta el rojo claro la probabilidad de factores ambientales favorables en el futuro (año 2050) para la distribución y desplazamiento de dicho género. La información registrada en el cuadro 19 ayuda a explicar cada uno de dichos escenarios de la siguiente manera:

Cuadro 19: Comportamiento de la distribución del género *Pinus* para los cuatro escenarios, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

Código	Unidades climáticas	Escenario RCP2.6	Escenario RCP4.5	Escenario RCP6.0	Escenario RCP8.5
1.2	Bosques latifoliados muy húmedos submontanos				
1.3	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	+	+	+	++
1.4	Bosques mixtos con pino, montano del nivel inferior			+	
1.5	Bosques latifoliados, montano del nivel superior	++	+	++	++
1.6	Bosques mixtos con pino, montano del nivel superior	++	+	++	+
1.7	Bosques latifoliados, altimontanos	++	++	++	++
1.8	Bosques mixtos con pino, altimontanos	+	++	+	+
1.9	Bosques de coníferas, altimontanos				
1.10	Bosque latifoliados muy húmedos de bajura			+	
1.11	Sistema productivo dominado por bosque mixto	++	++	++	+
1.12	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo	+		+	+
1.13	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)			++	++
	Factores que determinan la distribución futura	Bio 16,3	Bio 16,3	Bio 16,3	Bio 16,3

Referencias: Interpretación de probabilidad de factores ambientales favorables para la especie en los mapas de escenarios: rojo = ++ (mayor probabilidad), rojo y amarillo = + (menor probabilidad)

El escenario RCP2.6 ilustrado en la figura 50G de anexo y registrado en el cuadro 19, proyecta una distribución óptima en la unidad climática 1.6. También en las unidades climáticas 1.5 ubicadas en las faldas de las montañas de los volcanes Zunil, Pecul y San Pedro. En la unidad 1.5 se proyecta también distribución óptima en las áreas de influencia del Volcán San Pedro. En el área de las unidades 1.5 del volcán Atitlán la distribución será un tanto restringida, al igual que las áreas de la unidad 1.7 de los volcanes Pecul, Zunil y Atitlán. En general el género tendrá su óptima distribución en las montañas de Sierra Parraxquím y periferia oeste y suroeste del lago de Atitlán.

Para el escenario RCP4.5 ilustrado en la figura 51H de anexo y registrado en el cuadro 19, el comportamiento de la distribución del género manifiesta un retraimiento hacia las partes montañosas más altas. Las áreas geográficas con mayor concentración, corresponde a la parte alta del volcán Atitlán, el Cerro Paquisis y el corredor montañoso Pecul-Chuatroj\_Alaska. Las unidades con dominancia de distribución óptima son 1.7, 1.8, y 1.11.

En el escenario RCP6.0 ilustrado en la figura 52I de anexo y registrado en el cuadro 19, la distribución óptima se concentra en las partes altas de los volcanes Atitlán, Pecul y Zunil, en las montañas de Pajpoj, cerros Xiquichó, Paquisis y Panam. Se expresa la tendencia a desplazarse a las áreas con alta pendiente, observable en las unidades 1.13 y 1.3 en el área de Chuituj y Pasaquijuyub. Las unidades climáticas con dominancia de distribución óptima son 1.3, 1.5, 1.6, 1.7, 1.11, 1.13.

Y para el escenario RCP8.5 ilustrado en la figura 53J de anexo e indicado en el cuadro 19, la distribución óptima se concentra en las faldas de los volcanes Pecul, Zunil y levemente en el volcán Atitlán y en las

zonas montañosas de Pajpoj, Xiquichó, Panam, Paquisis y las faldas de montaña de alta pendiente, aledañas a las montañas mencionadas. Las unidades climáticas con dominancia de área de distribución óptima son 1.3, 1.5, 1.7 y 1.13.

#### 4.6.3. Género *Alnus*

El Género *Alnus* es una especie de distribución amplia en el área objeto de la evaluación, por lo que se consideró importante analizar su tendencia en los escenarios actuales y futuro, con el fin de complementar la información necesaria para tomar decisiones importantes para la conservación y restauración vegetal.

En el siguiente cuadro aparece el resumen del análisis de los valores de AUC (Área under curve = área bajo la curva), para evaluar el comportamiento de la modelización de por MaxEnt para el grupo de datos de muestra y datos de prueba del género *Alnus* en cada uno de los escenarios según vías de concentración de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 20: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para el género *Alnus*

Escenario	AUC test de entrenamiento+	AUC test de prueba*		Predicción del modelo
		AUC	S	
RCP2.6	0.967	0.926	0.020	Excelente
RCP4.5	0.967	0.926	0.020	Excelente
RCP6.0	0.967	0.926	0.020	Excelente
RCP8.5	0.967	0.926	0.020	Excelente

Referencias: +: utilizando todas las variables \*Variables escogidas, S: desviación estándar

Los valores del AUC en el cuadro 20 de 0.926 son mayores a 0.90 por lo que el poder predictivo del modelado es excelente (López Alvarez, 2014).

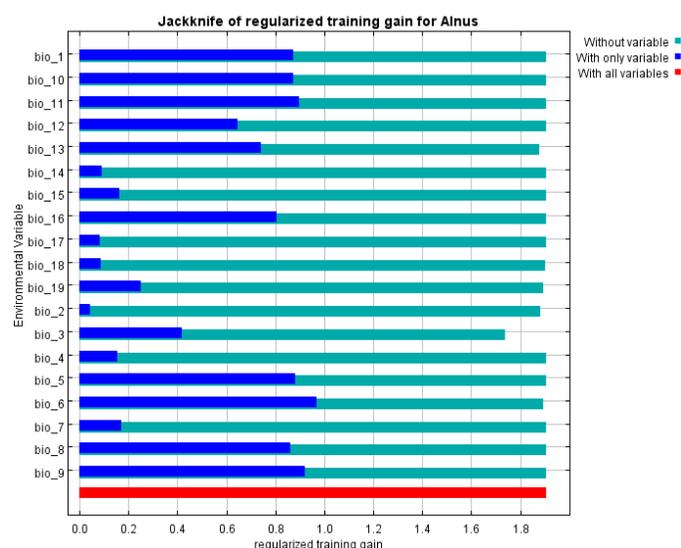


Figura 41: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para *Alnus*

En la figura 41 que ilustra la prueba jackknife, los factores que determinan la distribución corresponden a la temperatura mínima del mes más frío (bio6) y la isothermalidad (bio3). Otro factor importante por su contribución es la precipitación del mes más húmedo (bio13) (ver cuadro 28E en anexos).

Los escenarios futuros para el género *Alnus* se ilustran en las figuras 54K, 55L, 56M y 57N de anexos, las cuales, muestran por coloración desde el tono azul hasta el tono rojo claro la probabilidad de factores ambientales favorables en el futuro (año 2050) para la distribución y desplazamiento de dicho género. La información registrada en el cuadro 21 ayuda a la explicación de cada uno de dichos escenarios, lo cual se describe a continuación:

Cuadro 21: Comportamiento de la distribución del género *Alnus* para los cuatro escenarios, parte alta de la Cuenca del Río Nahualate

Código	Unidades climáticas	Escenario RCP2.6	Escenario RCP4.5	Escenario RCP6.0	Escenario RCP8.5
1.2	Bosques latifoliados muy húmedos submontanos				
1.3	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	+			
1.4	Bosques mixtos con pino, montano del nivel inferior				
1.5	Bosques latifoliados, montano del nivel superior	++		++	+
1.6	Bosques mixtos con pino, montano del nivel superior	+			
1.7	Bosques latifoliados, altimontanos	++	++	++	++
1.8	Bosques mixtos con pino, altimontanos	++	++	++	++
1.9	Bosques de coníferas, altimontanos				
1.10	Bosque latifoliados muy húmedos de bajura				
1.11	Sistema productivo dominado por bosque mixto	+		+	+
1.12	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo	+			
1.13	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)				
	Factores que determinan la distribución futura	Bio 6,3	Bio 6,3	Bio 6,3	Bio 6,3

Referencias: Interpretación de probabilidad de factores ambientales favorables para la especie en los mapas de escenarios: rojo = ++ (mayor probabilidad), rojo y amarillo = + (menor probabilidad)

Según el escenario RCP 2.6 ilustrado en la figura 54K de anexo y con datos del cuadro 21, en la unidad climática 1.8 la especie se distribuye en forma óptima en zonas montañosas con altas pendientes. Este escenario es el que mayor área y unidades climáticas abarca.

En el escenario RCP4.5 ilustrado en la figura 55L de anexo y con base a datos del cuadro 21 se infiere que la distribución óptima se concentra a las partes más altas de las montañas de la parte occidental, en la zona de los volcanes Zunil y Pecul y la conexión con la montaña conocida como Alaska y la parte alta del cono volcánico Atitlán, sitios característicos por manifestar alta pendiente. Además, restringe la distribución futura del género, a pesar de que el nivel de concentración de CO<sub>2</sub> para este escenario se considera como término medio.

En el escenario RCP6.0 (ve figura 56M de anexo y cuadro 21) y RCP8.5 (ver figura 57N de anexo y cuadro 21) se infiere que habrá una distribución futura en únicamente cuatro unidades climáticas de la parte alta y media de la cuenca objeto de estudio, es decir habrá retraimiento del género para el año 2050.

#### 4.6.4. Especie de *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For.

Así como el género *Alnus*, la especie de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Gard. & For. presenta amplia distribución y se catalogó como de interés entre las especies bioindicadoras específicamente en la región fisiográfica Llanura costera del pacífico. Por lo tanto, se analizaron sus tendencias en los escenarios actuales y futuros.

En el cuadro 22 aparece el resumen del análisis de los valores de AUC (Área under curve = área bajo la curva), para evaluar el comportamiento de la modelización por MaxEnt para el grupo de datos de muestra y datos de prueba de *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For. en cada uno de los escenarios según vías de concentración de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 22: Ajuste de modelos en los cuatro escenarios para *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For.

Escenario	AUC test de entrenamiento+	AUC test de prueba*		Predicción del modelo
		AUC	S	
RCP2.6	0.893	0.778	0.141	Moderadamente útil
RCP4.5	0.893	0.778	0.141	Moderadamente útil
RCP6.0	0.893	0.778	0.141	Moderadamente útil
RCP8.5	0.893	0.778	0.141	Moderadamente útil

Referencias: +: utilizando todas las variables \*Variables escogidas, S: desviación estándar

Los valores del AUC en el cuadro 21 de 0.778 quedan entre los rangos 0.70 a 0.90 de tal forma que la predicción del modelado se define como moderadamente útil.

En la figura 42 que ilustra la prueba de Jackknife, se observa que el factor que determina la distribución de la especie es la precipitación del mes más húmedo (bio13) y otros factores importantes son la temperatura mínima del mes más frío (bio6) y la isothermalidad (bio3) (ver cuadro 28E de anexos).

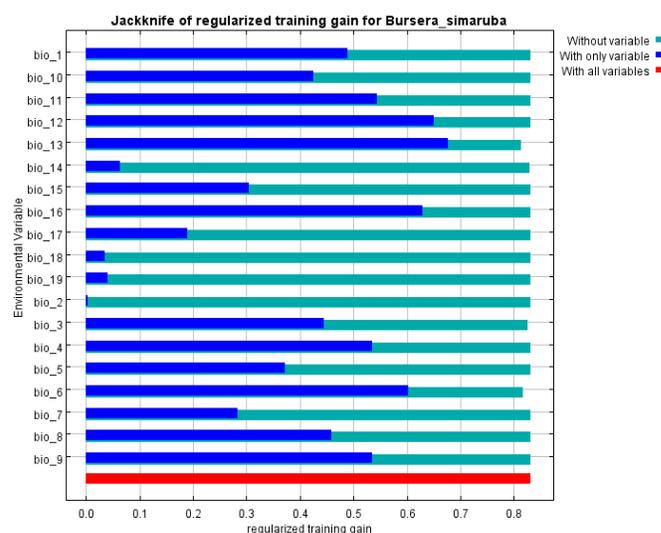


Figura 42: Contribución de factores ambientales en la modelación (prueba de Jackknife) para *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For.

Los escenarios futuros para *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For. se ilustran en las figuras 58Ñ, 59O, 60P y 61Q de anexo, las cuales, muestran por coloración desde el tono azul hasta el tono rojo claro la probabilidad de factores ambientales favorables en el futuro (año 2050) para la distribución y desplazamiento de dicha especie. La información registrada en el cuadro 23 ayuda a explicar e interpretar cada escenario de la siguiente forma:

Cuadro 23: Comportamiento de la distribución de *Bursera simaruba* (L.)Sarg. Gard. & For. para los cuatro escenarios, parte alta de la Cuenca del Rio Nahualate

Código	Unidades climáticas	Escenario RCP2.6	Escenario RCP4.5	Escenario RCP6.0	Escenario RCP8.5
I.2	Bosques latifoliados muy húmedos submontanos	+	+	+	+
I.3	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior	+	+	+	++
I.12	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo	+	+	+	++
I.13	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)	++	+	++	++
II.10	Bosques latifoliados muy húmedos de bajura	++	++	++	+
II.12	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo	++		++	+
II.13	Sistema productivo dominado por latifoliado y café, o cacao, o cardamomo (mayor a 50%)	++	+	+	+
II.14	Mono cultivo, caña de azúcar	+	+	+	+
III.1	Bosques latifoliados muy húmedos de bajura	++	+		++
III.10	Sistema productivo dominado por latifoliadas	++	++	+	+
III.14	Mono cultivo, caña de azúcar	+	++	+	+
	Factores que determinan la distribución futura	Bio 13,13	Bio 13,13	Bio 13,13	Bio 13,13

Referencias: Interpretación de probabilidad de factores ambientales favorables para la especie en los mapas de escenarios: rojo = ++ (mayor probabilidad), rojo y amarillo = + (menor probabilidad)

En el escenario RCP2.6 ilustrado en la figura 58Ñ de anexo y registrado en el cuadro 23 se interpreta que proyecta una distribución óptima de la especie en la mayor parte de la bocacosta, con dominancia en la planicie costera del pacífico y con excepción de la mayor superficie de las unidades climáticas II.14, II.13 y III.14. La tendencia es a concentrarse la mayor área en la planicie costera y en la parte inferior de la región de la bocacosta o sea aledaña a la planicie.

En el escenario RCP4.5 (ver figura 59O y cuadro 23) el comportamiento de la distribución de la especie es pobre en toda el área, con excepción de algunas áreas de las unidades climáticas II.10, III.10 y III.14. Se manifiesta leve condiciones óptimas en parte de las unidades climáticas III.1 y III.10. La mayor concentración de distribución óptima corresponde a la región de la planicie costera del pacífico en el dominio de los municipios de Suchitepéquez, donde predomina el cultivo de caña de azúcar, sistemas productivos dominado por latifoliadas y los bosques muy húmedos de bajura. Es en este escenario en donde la especie manifiesta leve retraimiento de su área de distribución actual en comparación con los demás escenarios.

En el escenario RCP6.0 (ver figura 60P de anexo y cuadro 23) la distribución óptima de la especie abarca la mayor parte de la región de la bocacosta, con excepción de la mayor superficie de las unidades climáticas II.14 y II.13, y de la planicie costera, con excepción de algunas porciones de las unidades climáticas III.10 y III.14 ubicadas en el extremo sur del área de estudio.

Para el escenario RCP8.5 que se ilustra en la figura 61Q de anexo y con base a los datos registrados en el cuadro 23, se infiere que la distribución óptima de la especie abarca la mayor parte de la región de la bocacosta con excepción de la mayor superficie de las unidades climáticas II.14, II.13, II.12 y I.2, y de la planicie costera con excepción de algunas porciones de las unidades climáticas III.10 y III.14 ubicadas en el extremo sur del área de estudio.

## 5. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS

La mayor diversidad de unidades climáticas se ubica en la parte alta de la cuenca, caracterizada por áreas con altas pendientes y de acceso humano limitado. Esta diversidad está condicionada por el relieve, la diversidad de exposiciones, cambios altitudinales, alta densidad de drenaje de la cuenca. Los factores ambientales referidos unificados a la exposición fisiográfica de la cabecera de la cuenca, influyen en la captura de humedad que asciende del océano pacífico. De lo anteriormente expuesto se infiere que es este factor más influyente en esta parte de la cuenca, que define la diversidad climática existente.

La mayor extensión de bosque maduro y en proceso de restauración por medio de diversas etapas de sucesión ecológica, se ubica en la parte alta de la cuenca. Concentrándose la mayor extensión (28.96 % del área total) en la región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas, fenómeno condicionado por el relieve en esta región, caracterizada por las altas pendientes (ver figura 15) que existen en el área montañosa de la denominada pie de monte volcánico.

La diversidad cuantificada en el estudio que corresponde a 392 especies agrupadas en 112 familias. El 92% de la diversidad presente en toda la cuenca existe en la región fisiográfica Tierras Altas Volcánicas; el 14% está presente en la región de la Pendiente Volcánica y el 10% en la Llanura Costera del Pacífico. El referido comportamiento está condicionado por el relieve que define el acceso y como consecuencia el uso del territorio.

Las regiones fisiográficas de la Pendiente Volcánica y la Llanura Costera del Pacífico, se caracterizan por la dominancia del latifundio destinado a cultivos de caña de azúcar, hule, café, cacao, cardamomo y pasto para ganadería. Las tecnologías de cultivo utilizadas demandan la simplificación y uniformización de los agrosistemas, lo cual influye en la disminución de la diversidad (ver figura 43).

En la región fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico, las fuentes de diversidad nativa corresponden a parches de bosque asociados a corrientes de agua o sitios que por su microrelieve no son posibles de cultivar y sitios de descanso de ganado vacuno en las vastas extensiones de potreros (ver figura 43).

En la región fisiográfica de la Pendiente Volcánica las fuentes de diversidad nativa están determinadas por sistema agroforestales tradicionales que conservan especies forestales de especies nativas como sombra o especies acompañantes de los cultivos de banano, café, cardamomo y cacao. También contribuyen a la diversidad reservas de bosque ubicadas en las zonas montañosas poco accesibles de esta región fisiográfica.



La región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas se caracteriza por la dominancia del minifundio, con dificultad de acceso en especial en la parte del pie de monte volcánico (ver figura 3). Los regímenes de propiedad son particular y colectivos (comunales y municipales). El régimen colectivo ha permitido mantener cobertura de bosque maduro con diferentes grados de intervención y en el régimen particular se interviene el territorio con diversos usos y se practica el abandono, lo que genera diversidad de procesos de recuperación por medio de sucesión ecológica.

La mayor diversidad de especies de árboles, arbustos y epífitas se ubica en los bosques mixtos con pino montanos del nivel superior y bosques mixtos con pino altimontano, que corresponde a zonas de difícil acceso, también a áreas sujetas a intervención humana en procesos de recuperación (ver cuadro 6 y figuras 19, 20 y 21). El contexto referido de orden socioeconómico, cultural y biológico explica la presencia de la mayor diversidad vegetal en esta parte de la cuenca definida como región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas.

Comparativamente en las regiones fisiográficas de la Pendiente Volcánica y la Llanura Costera del Pacífico predominan la fincas donde la cultura de uso de territorio está orientado a la agroindustria; en la región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas la cultura del uso del territorio está orientado a la satisfacción de necesidades de los habitantes con un enfoque o énfasis tradicional, aplicando conocimiento local y ancestral. Las culturas presentes en la Pendiente Volcánica y la Llanura Costera del Pacífico son de los pueblos ladino y k'iché, con limitado o nulo poder de decisión sobre el uso del territorio, en las Tierras Altas Volcánicas predominan los pueblos Kakchiquel y K'iché (ver figura 7), con poder de decisión en el uso del territorio, es lo que permite explicar las diferencias de la diversidad presente en cada región fisiográfica.

Respecto al comportamiento fenológico de la vegetación de la cuenca, se percibe que la producción de flores tiene continuidad a lo largo del año. Para las especies arbóreas la producción de flores se asocia al inicio de la época lluviosa. La producción de frutos y semillas se concentra al inicio de la época lluviosa y en los meses de diciembre a marzo. Para las especies arbóreas la producción de semillas generalmente se concentra entre diciembre y marzo.

Respecto a los grupos taxonómicos sensibles al cambio climático, estos se concentran en la parte alta de la cuenca y es debido al deterioro que han sufrido las áreas boscosas de la parte media y baja de la cuenca, donde originalmente se distribuían especies del género *Quercus* los denominados chicharros. Por lo tanto las predicciones futuras de variación climática son más certeras para la parte alta, por la alta presencia de los bioindicadores utilizados.

## 6. CONCLUSIONES

- En la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate se determinaron 22 unidades climáticas. La región fisiográfica tierras altas volcánicas con 13, la Región Pendiente Volcánica Resiente con 5 y la Región Llanura Costera del Pacífico con 4 unidades climáticas.
- Las unidades climáticas de la Región fisiográfica Tierras Altas Volcánicas ocupan el 61.75% del área total evaluado, el 29.60% del área total corresponde a las unidades climáticas de la Región Pendiente Volcánica Resiente y el 8.65% del área total corresponde a las unidades climáticas de la Región Llanura Costera del Pacífico.

- Según el mapa de cobertura forestal editado por el Instituto Nacional de Bosques –INAB en el año 2012 y en base a corroboración de campo, en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate existen 8,435.15 Hectáreas de bosques de coníferas, 11,239.20 Hectáreas de bosques de latifoliados, 3,985.44 Hectáreas de Bosques mixtos, 84.84 Hectáreas de bosques de galería y 1,727 Hectáreas de árboles dispersos.
- La mayor extensión de bosque maduro y en proceso de restauración por medio de diversas etapas de sucesión ecológica, se ubica en la parte alta de la cuenca, concentrándose la mayor extensión (28.96 % del área total) en la región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas, fenómeno condicionado por el relieve de la región.
- La diversidad florística de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate corresponde a 392 especies entre árboles, arbustos, hierbas, epífitas y lianas, las cuales se distribuyen en 112 familias botánicas.
- El 36% del total de las especies halladas corresponde a árboles, el 35% corresponde a arbustos y el 29% corresponde a hierbas, epífitas y lianas.
- La diversidad florística por unidad climática se manifiesta así: La Unidad climática Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior (1.6) es la que contiene mayor cantidad de especies de árboles, la unidad climática sistema productivo dominado por bosque mixto (1.11) contiene la mayor cantidad de especies de arbustos y la unidad climática Bosques mixtos con pino, altimontanos (1.8) contiene la mayor cantidad de especies de hierbas.
- La floración de la vegetación evaluada manifiesta continuidad a lo largo del año y la fructificación se presenta en dos períodos el mes de septiembre y entre los meses de diciembre a marzo. Para las especies arbóreas la floración se concentra en el mes de septiembre y la producción de frutos y semillas entre los meses de diciembre a marzo.
- Del total de especies arbóreas (123 especies): 11 presentaron mayor brotes, 3 mayor floración, 3 mayor frutos y semillas y 2 mayor floración y fructificación. Del total de especies arbustivas (147 especies) 6 presentaron mayor brotes, 5 presentaron mayor floración, 4 mayor frutos y semillas y 3 mayor flores-frutos.
- Los grupos taxonómicos seleccionados y valorados como especies indicadores de cambio climático para la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate corresponde a los géneros *Quercus*, *Pinus* y *Alnus* y dos especies complementarias *Arbutus xalapensis* y *Bursera simaruba* por sus características fisiológicas y sensibilidad a cambios ambientales.
- La mayoría de grupos taxonómicos sensibles a cambio climático se distribuyen actualmente en la Región Tierras Altas Volcánicas, mayormente en unidades climáticas como Bosques latifoliados, montano del nivel inferior (1.3), Bosques latifoliados, montano del nivel superior (1.5), Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior (1.6), Bosques mixtos con pino, altimontanos (1.8) y Sistema productivo dominado por bosque mixto (1.11).

- Los géneros *Quercus*, *Pinus* y *Alnus* para los cuatro escenarios (RCP2.6, 4.5, 6.0 y 8.5) en el año 2050, presentaran mayores probabilidades de condiciones ambientales favorables para su distribución en las unidades climáticas I.3, I.4, I.5, I.6, I.7 y I.8, mientras que *Bursera simaruba* mayormente en la unidad climática II.10.
- Los grupos taxonómicos sensibles a cambio climático (*Quercus*, *Pinus*, *Alnus* y *Bursera simaruba*) muestran alta probabilidad de adaptación en los escenarios RCP 6.0 y 8.5 para el año 2050.

## 7. RECOMENDACIONES:

- La concentración de unidades climáticas que coincide con la concentración de mayores cantidades de áreas boscosas en la región de la cadena volcánica que corresponde al área de estudio, hace importante determinar especies promisorias que garanticen la restauración y conservación de los ecosistemas existentes.
- Conservando y manejando sosteniblemente los recursos forestales en la cabecera del área evaluada, permitirá el desarrollo de proyectos de producción de peces de agua fría para contribuir a la economía y a la diversificación de alimentación local.
- Por las características de la biodiversidad en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, es importante el estudio de especies de uso artesanal e industrial, como alternativa de diversificación de usos del bosque.
- La alta diversidad vegetal y su paisaje forestal, la fisiografía y su relieve, facilitan desarrollar a corto plazo acciones turísticas a nivel antropológica, rural, de aventura y otras.
- En el área evaluada es imprescindible continuar con el monitoreo de los grupos taxonómicos a nivel de campo sobre su fenología, su comportamiento de distribución, bajo factores ambientales locales que permitan ir comprobando su adaptabilidad en los diferentes escenarios evaluados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- AGEXPORT. (sf). El reto de Guatemala es...generar empleos. En Agexport, *Duplicando exportaciones y empleos: estrategia renovada 2012-2015* (págs. 17-37). Guatemala: Agexport.
- Azurdia, C. (2016). *Plantas mesoamericanas subutilizadas en la alimentación humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual*. CONAP/USAC/DIGI, Guatemala. Guatemala: CONAP.
- Banqué Casanovas, M., Grau Ripoll, A., Martínez-Villalta, J., & Vaydera Duran, J. (2013). *CANVIBOSC: Vulnerabilidad de las especies forestales al cambio climático*. Catalunya: Oficina Catalana del Canvi climàtic.

- Barreno Ortiz, F. M. (2010). *Recuperación y revalorización del conocimiento etnomedicinal en once municipios de la Runcla*. CONCYT, Guatemala.
- Basilio J., I. (2002). *Evaluación de la composición florística con énfasis en las especies arbóreas en el Bosque Patrimonio Familiar Agrario, San Pedro La Esperanza Uspantán, Quiché*. Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC. Guatemala: USAC/CUNOROC.
- BOLFOR, Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible.
- Comisión Nacional de Areas Protegidas -CONAP. (2003). *Diagnóstico Ecológico-Social y Plan preliminar de conservación del área de Atilán*. Guatemala: Digital.
- CONAP. (2008). *Guatemala y su biodiversidad: un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. (F. G. Cesar Azurdia Pérez, Ed.) Guatemala, Guatemala, Guatemala: Consejo Nacional de Areas Protegidas.
- Cottam, G., & Curtis, J. T. (Jul. de 1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37(3), 451-460.
- Cuesta Camacho, F., Peralvo, M., & Ganzenmuller, A. (2008). Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales. (P. Mena, & G. Maldonado, Edits.) *Páramo y Cambio Climático*(23), 15-38.
- García Anleu, R., Ramos, V. H., Calderón, A. P., & Ponce Santizo, G. (2014). *Selección de sitios y especies de alta importancia para la biodiversidad para la implementación de sistemas de monitoreo de biodiversidad amenazada por el cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala*. The Nature Conservancy/Wildlife Conservation Society. Guatemala: The Nature Conservancy/Wildlife Conservation Society.
- Godínez, S. M. (2013). *Evaluación Ecológica Rápida -EER de la biodiversidad de bosques comunales de Sierra Parraxquím, Totonicapán*. Univesidad de San Carlos de Guatemala/Centro Universitario de Noroccidente/Ingeniería Forestal-CARE Guatemala-Fondo para la Conservación de Bosques Tropicales. Huehuetenango: USAC-CUNOROC/CARE/FCA.
- Godínez, S. M.; Carasco M., C. M.; Basilio J., I. M. (2013). *Estudio de la Biodiversidad de especies de flora y fauna presentes en la microcuenca Río Ocho, Huehuetenango, Guatemala*. Asociación de Cooperación al Desarrollo Integral de Huehuetenango \_ACODIHUE/FCA. Huehuetenango, Guatemala: ACODIHUE.
- Gómez-Mendoza, L., Galicia, L., & Aguilar-Santelises, R. (diciembre de 2008). Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones geográficas (Mx)*(67), 76-100.
- Halffter, G., Moreno, C. E., & Pineda, E. O. (2001). *Manual para evaluación de la biodiversidad*. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 2.
- Herranz Sanz, J. M., & Ferrandis G., P. (2006). *Posibles efectos del cambio climático sobre las especies vegetales en Castilla La Mancha*. Técnico, Castilla-La Mancha.
- Hurtado, Aguilar, C. (2007). *Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie Aniba perutilis Hemsley (Comino Crespo) en el departamento del Valle del Cauca*. Fundación Universitaria de Popayán, Facultad de Ciencias Naturales, Valle del Cauca. Colombia: Fundación Universitaria de Popayán.
- INAB & CONAP. (2012). *Mapa forestal por tipo y subtipo de bosque*. INAB-CONAP. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques -INAB/Comisión Nacional de Áreas Protegidas -CONAP.
- INAB. (2001). *Mapa de ecosistemas vegetales de Guatemala*. Instituto Nacional de Bosques, Departamento de Sistemas de Información Geográfica. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques.

- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Caracterización de la República de Guatemala*. INE. Guatemala: UNFPA/AECID.
- Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Caracterización departamental Sololá 2012*. INE. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Caracterización departamental Suchitepéquez 2012*. INE. Guatemala: INE.
- Instituto Nacional de Estadística. (sf). *Guatemala: estimación de la población total por municipio, período 2008-2020*. Guatemala: INE.
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad -Resumen para Responsables de Política*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: Editores científicos para la traducción: Eduardo Calvo Buendía y José M. Moreno.
- Jolom Morales, M. R. (2005). *Recopilación de información sobre biodiversidad en Guatemala*. INBio/Norwegian Ministry of Foreign Affairs/CONAP. Guatemala: INBio/Norwegian Ministry of Foreign Affairs/CONAP.
- Leigue Gómez, J. W. (2011). Regeneración natural de nueve especies maderables en un bosque intervenido de la Amazonia Boliviana. *Acta Amazonica*, 41(1), 135-142.
- Locatelli, B. (2006). *Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático (documento de respaldo para la primera reunión del Proyecto TroFCCA)*. CATIE, Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático. Turrialba: CATIE Grupo Cambio Climático.
- López Alvarez, D. C. (2014). *Predicción de la futura distribución potencial de Quercus humboldtii bajo diferentes escenarios de cambio climático*. Universidad San Francisco, Quito. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco.
- MARN-CONAP. (2011). *Evaluación preliminar de los posibles impactos del cambio climático sobre la diversidad biológica y los bosques en Guatemala; recomendaciones para su mitigación y adaptación*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Guatemala, Guatemala: Serviprensa, S.A.
- Matías Mauricio, F. D.; Godínez, S. M., & Bulux A., D. G. (2014). *Guía de identificación de plantas medicinales de uso ancestral de los bosques de Santa María Chiquimula y Totonicapán*. Proyecto FCA, CARE, Totonicapán, Guatemala.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. (E. V. Chesneau, Ed.) Washington: Organización de los Estados Americanos.
- Meffe, G. K., & Carroll, C. R. (1997). *Principles of Conservation Biology*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Melo Cruz, O., & Vargas Ríos, R. (2002). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. (O. A. Melo Cruz, Ed.) Ibagué, Colombia: Universidad de Tolima.
- Méndez Guerrero, M. (2008). *El arte de la tintorería manual práctico*. (J. González Chavajay, C. F. Cholotio, & C. Cholotío, Trads.) San Juan La Laguna, Guatemala: Asociación del Servicio Exterior-Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Morales Ochoa, M. E., & Calderón Castillo, E. A. (2010). *Caracterización del tráfico ilegal de fauna silvestre en el altiplano occidental de Guatemala*. DIGI-USAC/CONAP, Dirección General de Investigación. Guatemala: DIGI-USAC.
- Moreno Rodríguez, J. M. (2005). *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente-Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.

- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal* (Daniel Nash ed.). Santa Cruz, Bolivia: Editora El País.
- Oglesby, R., & Rowe, C. (sf.). *Impacto climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5*. Guatemala, Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). *Manual de MaxEnt*. USA: AT & Research.
- PNUD. (2014). *Sinopsis del desarrollo humano en Guatemala*. Guatemala: Serviprensa, S.A.
- PNUD. (sf.). *Diagnóstico de las organizaciones locales identificadas en el área de intervención del Proyecto Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socioeconómicas Fortalecidas en Guatemala*. Guatemala: MARN/PNUD/Adaptation Found.
- PPRCC/MARN-PNUD. (2016). *Caracterización biofísica de la Cuenca del Río Nahualate y las 19 subcuencas de interés para el proyecto*. PNUD. Guatemala: PNUD.
- PPRCC/MARN-PNUD-AF. (2016). Oficinas regionales, subcuencas y municipios del proyecto PPRCC Cuenca del Río Nahualaté. *Mapa*. Guatemala, Guatemala.
- PPRCC/MARN-PNUD-AF. (2016). Regiones Fisiográficas de las subcuencas del Proyecto PPRCC, cuenca del Río Nahualate. Guatemala, Guatemala.
- Red Nacional de Grupos Gestores & Banco Industrial. (sf). *El comercio interno de Guatemala*. Guatemala: Banco Industrial.
- Reiche, O. (2015). *Plantas tintóreas de Guatemala*. Guatemala: Ediciones del Pensativo.
- RERB. (sf.). Guía Metodológica: Manual del Programa de Seguimiento Fenológico de la Red Española Reservas de la Biosfera. Madrid, España: RERB (Digital).
- Sánchez-Paez, H., Álvarez-Leon, R., Guevara-Mancera, O. A., Zamora-Guzmán, A., Rodríguez-Cruz, H., & Bravo-Pazmiño, H. E. (1997). *Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Pacífico de Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente de Colombia & Organización Internacional de Maderas Tropicales, Bogotá.
- Soberón M., J., Llorente Busquets, J., & Luis M., A. (2005). Estimación del componente Beta del número de especies de Papilionidae y Pieridae (Insecta:Lepidoptera) de México por métodos indirectos. En G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, & A. Melic, *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades Alfa, Beta y Gamma* (pág. IV + 242). Zaragoza, España: SEA-CONABIO-DIVERSITAS-CONACYT.
- Standley, P., & Steyermark, J. (1947-1977). *Flora of Guatemala*. Chicago, USA: Field Natural History Museum, Fieldiana Botany.
- Tello, E. R., Rojas, T. R., Macedo B., L. A., & Alegría, M. W. (2006). *Eficiencia del método de cuadrante, sextante y el método de parcela cuadrada en el inventario de un bosque tropical, Iquitos-Perú*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana-Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana-Facultad de Ciencias Forestales.
- Tenez, D. (2008). *Riqueza de especies de aves en Guatemala y estado de su conocimiento*. Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala: Universidad Rafael Landívar/Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- The Nature Conservancy. (2000). *Esquema de las cinco S para la conservación de sitios: manual para la conservación de sitios y la medición del éxito en conservación*. TNC.
- Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. (sf). *Instrumentos Topográficos*. Madrid: Grupo de Ingeniería Gráfica y Simulación.

- Valdez Rodas, O. I., Pérez Consuegra, S. G., Ordoñez, J. E., Orellana Ayala, R., Sandoval Cumes, K. J., Muñoz, A. C., y otros. (2000). *Fauna en peligro de extinción en Guatemala: estudios de biodiversidad parte II*. CECON/FONACYT, CDC-CECON. Guatemala: CECON/FONACYT.
- Valladares, F., Peñuelas, J., & de Luis Calagbuig, E. (sf). Impactos sobre los ecosistemas terrestres. En J. Pereira, & P. Canadell, *Impactos del cambio climático en España*.
- Villar Anléu, L. (1,998). *La Fauna Silvestre de Guatemala*. (C. d. -CECON, Ed.) Guatemala, Guatemala: Editorial Universitaria/USAC.
- Villar, Anleu, L. (1998). *La Flora Silvestre de Guatemala*. (C. d. (CECON), Ed.) Guatemala, Guatemala: Editorial Universitaria/USAC.
- Villers-Ruiz, L., & Trejo-Vásquez, I. (s.f.). *El cambio climático y la vegetación en México*. Instituto de Geografía. México: UNAM.

## 9. ANEXOS

### 9.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

La secuencia metodológica desarrollada en diferentes momentos para la generación del estudio de biodiversidad de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, se describe en los siguientes apartados:

#### 1.1. Caracterización de la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

##### 1.1.1. Elaboración de mapas bases para la investigación

Para la captura de información relacionada con la composición florística de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, se clasificó el área en función de los parámetros ambientales que influyen en la composición florística. Para el efecto se elaboraron los mapas de la delimitación de la diversidad de unidades climáticas<sup>5</sup> dentro del área de estudio y el mapa de cobertura forestal.

##### a. Mapa de unidades climáticas

Para la elaboración del mapa se utilizó el programa gvSIG con el que se gestionaron y se procesaron los archivos vectoriales de extensión shp del límite del área de estudio (MAGA, 2001), el de fisiografía del MAGA y el del mapa de Ecosistemas del INAB (INAB, 2001). La lógica básica del procedimiento que se usó, se ilustra en el flujograma de la figura 40A de anexos.

Para generar el mapa de unidades climáticas se elaboró una leyenda fisiográfica-ecosistémica del área de estudio, según el modelo presentado en el cuadro 23A de anexos. Para construir la leyenda fisiográfica se generó el mapa de unidades fisiográficas a nivel de gran paisaje, el cual, se traslapó con el mapa de ecosistemas que posee la cuenca.

---

<sup>5</sup> La unidad climática se define para el objetivo del estudio, como el área o territorio que posee una composición florística particular determinada por la combinación de las variables de temperatura, precipitación y altitud.

El mapa fisiográfico permitió identificar la diversidad de unidades fisiográficas a nivel de gran paisaje dentro del área de estudio, constituyendo este elemento ambiental el primer criterio y factor que influye en la composición florística a nivel de gran paisaje.

El mapa de Ecosistemas según el INAB, permitió definir la diversidad de ecosistemas dentro del área de estudio. Esta clasificación toma como base, elementos de elevación, temperatura y humedad relativa, para la definición de las unidades de ecosistemas vegetales (INAB, 2001); por lo que se consideró adecuado para el propósito de la definición de unidades climáticas para la evaluación de biodiversidad. Este mapa permitió obtener el listado de ecosistemas contenidos dentro del área de estudio.

Cuadro 24A: Modelo de estructura la leyenda fisiográfica en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

Regiones fisiográficas	Unidades de ecosistemas según clasificación de INAB	Código unidad climática	Tipo de bosque	Código unidad climática-florística	Area (Ha)	Area (%)
Región fisiográfica (n1)	Ecosistema <sub>n1</sub> (1)	I.1	Bosque (B)	I.1.B	00.00	00.00
	Ecosistema <sub>n1</sub> (2)	I.2	Latifoliado (l)	I.2.l	00.00	00.00
Región fisiográfica (n2)	Ecosistema <sub>n2</sub> (1)	II.1	Mixto (m)	II.1.m	00.00	00.00
	Ecosistema <sub>n2</sub> (2)	II.2	Latifoliado (l)	II.2.l	00.00	00.00
Región fisiográfica (...nx)	Ecosistema <sub>ns</sub> (y)	X.Y	Monocultivo (mc)	X.Y.mc	00.00	00.00
	Ecosistema <sub>nx</sub> (z)	X.Z	Urbanización (U)	X.Z.U	00.00	00.00

Fuente: elaboración propia (año 2016)

La definición de la diversidad de unidades climáticas identificadas por un código en la tercera columna del cuadro 23A, se obtuvo por medio de la combinación de los archivos vectoriales de unidades fisiográficas y de ecosistemas según clasificación del INAB. El mapa resultante de la combinación permitió obtener el mapa de unidades climáticas del área de estudio.

#### b. Mapa de cobertura forestal

Para la elaboración del mapa de cobertura forestal dentro de cada unidad climática, se generó el mapa de cobertura forestal del área de estudio y para ello se utilizó la base informática de cobertura forestal desarrollada por INAB (INAB & CONAP, 2012).

Se combinaron los mapas de unidades climáticas y de cobertura forestal, generando como resultado el mapa de unidades climáticas por tipo de vegetación forestal. Este último componente complementó la leyenda fisiográfico-ecosistemica-florística, la que sirvió como herramienta de clasificación del área para la evaluación florística. Este mapa permitió estimar la cobertura forestal en las unidades climáticas y en la totalidad del área de estudio.



Figura 44A: Esquema de la elaboración de los mapas de unidades climáticas y mapa de unidades climáticas-florísticas en el área de estudio (Fuente: Elaboración propia).

La figura 40A muestra el proceso completo utilizado para la generación de los dos mapas básicos del área de estudio.

### 1.1.2. Diseño y construcción de la base general de datos de la composición florística

Previo al muestreo de campo, se diseñó y se construyó una base general de datos en una hoja electrónica de Microsoft Excel, la cual, facilitó el ordenamiento y sistematización de los datos colectados de campo sobre la composición florística. Para ello, fue necesario considerar los aspectos siguientes:

#### a. Definición de variables que constituyen la base general de datos

La base de datos fue construida tomando en cuenta las siguientes variables:

- (a) **Variables de evaluación:** se definen en función de los propósitos del estudio de biodiversidad.
- (b) **Variables geográficas y espaciales:** punto de evaluación, cuadrante, coordenadas (X,Y,Z) con datum WGS1984 en sistema GTM de ubicación de los sitios de evaluación dentro del cuadrante<sup>6</sup>.
- (c) **Variables biológicas:** categoría florística correspondiente al nombre científico (Matteucci & Colma, 1982) y/o local, hábito de crecimiento de las especies (árbol, arbusto, hierba, liana, epífita) según el sistema de Wittaker (Matteucci & Colma, 1982), diámetro normal a 1.30 m para los árboles, condición fenológica de las especies que definen la composición florística de las unidades climáticas (brote, flor, fruto, semilla), fechas de la condición fenológica manifiesta.

#### b. Forma de captura de información para la base general de datos

La captura de datos de campo se hizo de forma congruente con la base de datos, que fue diseñada en función de las variables de evaluación.

<sup>6</sup> Variables que permiten capturar la información espacial del método de muestreo de vegetación denominado puntos y cuadrantes.

En el campo, se colectaron muestras botánicas de especímenes vegetales no conocidas y de las que se dudaba su identidad taxonómica (ver figura 62). Las muestras vegetales se prensaron y secaron luego se enviaron al laboratorio de Botánica Sistemática del Centro Universitario de Nor-Occidente CUNOROC-USAC para su determinación<sup>7</sup>. La captura de información de informantes clave se realizó durante la evaluación de campo con las personas acompañantes, también se realizaron entrevistas a personas y líderes de las comunidades, registrándola en boletas de campo (ver cuadro 30G). La captura de información documental de usos de las especies se hizo a través de publicaciones e investigaciones realizadas en el área y en ecosistemas similares en otras regiones del país. Toda la información indicada, permitió alimentar la base de datos de la composición florística del área de estudio.

### c. Estructuración de la base general de datos para la composición florística

La estructura de la base general de datos se diseñó en función de las variables colectadas en campo. La base general de datos consiste en dos bases de datos en formato digital “base de diversidad vegetal” y “Base de usos de la diversidad vegetal”<sup>8</sup>, de la base de diversidad vegetal, se generó la lista sobre la diversidad general de pespecies y hábito de crecimiento en la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (ver Cuadros 31H de anexos). En la base de usos de la diversidad vegetal se incluyó como información complementaria los usos de las especies obtenida por entrevistas en comunidades y de investigación documental (Méndez Guerrero, 2008).

La base general de datos de composición florística dividida en dos bases de datos en formato electrónico, mismas que fueron diseñadas en hojas de cálculo de Microsoft office y que de las mismas se derivó toda la información mencionada en el presente documento; se presentaron como parte de los resultados finales ante el Proyecto PPRCC/PNUD.

#### 1.1.3. Ubicación de la muestra y unidades de muestreo

Con base en la estratificación definida por las unidades climáticas (ver figura 12), que constituyen unidades homogéneas, desarrollada para el área de estudio, se aplicó el muestreo preferencial, este criterio es aplicable a zonas de variación ambiental compleja (Matteucci & Colma, 1982), lo cual caracteriza a las diversas manifestaciones fisiográficas, socioeconómicas y culturales del área de estudio. A la fecha se ha concentrado el muestreo a la parte alta que corresponde a las regiones fisiográficas de Tierras Altas Volcánicas y de Pendientes Volcánicas Recientes y se ha muestreado parte de la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico.

El método de muestreo utilizado fue el preferencial, por permitir seleccionar sitios considerados típicos o representativos basados en la experiencia del investigador (Matteucci & Colma, 1982), de la diversidad en las unidades climáticas del área de estudio. Aplicando el método preferencial, en cada unidad climática se ubicó una muestra integrada por varios puntos según el criterio de Cottam y Curtis (1956), los que constituyeron las unidades de muestreo.

<sup>7</sup> Las especies fueron determinadas por Sergio Miguel Godínez (Docente del curso de Ecología Forestal de la Carrera de Ingeniería Forestal).

<sup>8</sup> Links para descargar bases de datos:

<https://www.dropbox.com/s/pmwuwh6xkig2ct/Base%20datos%20general%20diversidad%20vegetal%20final.xlsx?dl=0>

<https://www.dropbox.com/s/jilvb04o2cbvo20/Base%20datos%20general%20usos%20vegetal%20final.xlsx?dl=0>

Las unidades de muestreo definidas por puntos se ubicaron a intervalos según cambios de composición florística (Godínez, S. M.; Carasco M., C. M.; Basilio J., I. M., 2013), ausencia de propietarios individuales o colectivos ya que algunas veces no fue posible realizar mediciones, debido a los conflictos sociales y políticos vigentes relacionados con exploraciones mineras en la región y según la facilidad de acceso por barreras naturales, en este caso la topografía y pendiente del terreno. La percepción de cambios de composición, se refiere a la observación de variaciones o nuevos hallazgos de diversidad de árboles o arbustos, o cambios ambientales, lo cual, se basó en uno de los criterios de investigación de la Tradición de Wisconsin (Matteucci & Colma, 1982). Las unidades de muestreo se distribuyeron en las áreas de bosque de comunidades de parche<sup>9</sup> y matriz<sup>10</sup> (The Nature Conservancy, 2000), de las diferentes unidades climáticas-florísticas, con fundamento en el mapa de Ecosistemas del Instituto Nacional de Bosques –INAB– y de cobertura forestal 2012. Las unidades de muestreo constituidas por puntos de evaluación se geoposicionaron, colectando las coordenadas con datum WGS84 en sistema GTM (Guatemala Transversal Mercator).

#### 1.1.4. Definición de las Unidades de Muestreo

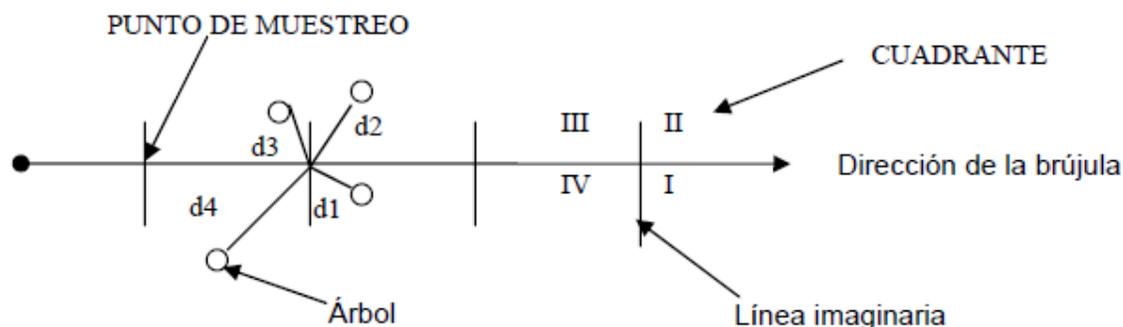
Para la evaluación de árboles y arbustos, se utilizó el método de puntos y cuadrantes propuesto por Cottam y Curtis, constituyendo un método rápido y eficiente para obtener información en estudios ecológicos y florísticos (Cottam & Curtis, 1956). Es un método ideal para evaluación de áreas arbustivas y arbóreas según De Oliveira et al., (1982 citado por Tello, Rojas, Macedo B., & Alegría, 2006).

El método se ilustra en la figura 45B y consiste en una línea o transecto que cruza el área de estudio (unidades climáticas- florísticas), sobre la cual se establecen puntos que constituyen las unidades de muestreo (Sánchez-Paez, Álvarez-Leon, Guevara-Mancera, Zamora-Guzmán, Rodríguez-Cruz, & Bravo-Pazmiño, 1997). En cada punto se colocó un jalón que sirvió como centro, y se trazaron dos líneas ortogonales (Tello, Rojas, Macedo B., & Alegría, 2006) orientadas a los puntos cardinales y luego se definieron los cuadrantes.

---

<sup>9</sup> Parche: En ecología del paisaje, un parche puede ser definido como una unidad determinada con límites identificables que difiere de sus alrededores de una o más maneras. Éstas pueden ser una función de la composición vegetativa, de la estructura, de la edad o de alguna combinación de las tres. Comunidad de parche: Son comunidades que se anidan dentro de comunidades de matriz y están contenidas principalmente por rasgos ambientales específicos y no por procesos de disturbio.

<sup>10</sup> Comunidades de matriz o formadoras de matriz: Las comunidades que forman una cobertura extensa y continua pueden categorizarse como comunidades de matriz (o formadoras de matriz). Estas comunidades se encuentran en las formaciones terrestres más extensas y por lo general tienen amplia tolerancia ecológica. Pueden estar caracterizadas por un mosaico complejo de etapas de sucesión que resultan a partir de procesos de disturbio característicos.



**Donde:**

**d1, d2, d3, d4 = Distancia entre el punto de muestreo y el árbol más cercano**

Figura 45B: Diseño del método puntos y cuadrantes de muestreo según Cottam y Curtis (tomado de Tello, Rojas, Macedo B., & Alegría, 2006).

Las especies de árboles para su evaluación, se clasificaron por estados de desarrollo en función del diámetro normal (dap)<sup>11</sup>, de la siguiente manera: plántula o regeneración natural corresponde a individuos menores a 1 cm de dap, brinzales o juveniles entre 1.0 y 5.0 cm de dap, latizales entre 5.1 y 15.0 cm de dap y fustal o árbol de acuerdo a Falla-Ramírez (1970 citado por Sánchez-Paez, y otros, 1997).

Tal como lo ilustra la figura 45B, por cada punto de muestreo se eligieron los cuatro árboles más cercanos (Cottam & Curtis, 1956) de diferentes especies. Cuando en el punto existieron más de cuatro especies diferentes de árboles, se eligieron un individuo por cada especie presente, distribuidos en los cuatro cuadrantes y los más cercanos al punto. De la misma manera se procedió para la elección de las especies arbustivas. Se registró la especie y su respectivo DAP para árboles; para los arbustos se registró la especie únicamente, luego la información general.

Las especies de hábitos de crecimiento herbáceo, epifítico y liana, se evaluaron en los sitios de los cuadrantes utilizados para evaluación de árboles y arbustos, registrando su presencia, el nombre científico o común. También se registraron las especies que constituyeron nuevos hallazgos, fuera de los cuadrantes, en sitios donde no existió variación o nuevos hallazgos de árboles y/o arbustos.

### 1.1.5. Determinación taxonómica y registro de diversidad florística

Para generar la información de la categoría florística correspondiente al nombre científico y el registro de la diversidad florística evaluada en el área de estudio, se siguió el siguiente procedimiento:

- Diferenciación y determinación de especies conocidas en campo y colecta de muestras de especímenes botánicos de especies desconocidas o de aquellas que presentaron ambigüedad respecto de su identidad taxonómica. Estas acciones fueron pertinentes para la identificación de las especies clave para la generación del calendario fenológico y de potenciales indicadores de cambio climático.

<sup>11</sup> Diámetro normal se define como el diámetro del fuste a 1.30 metros de altura de la superficie del suelo.

- Registro fotográfico de los órganos reproductivos presentes al momento de la evaluación de la biodiversidad.
- Prensado y secado de muestras de especímenes botánicos colectados.
- Identificación taxonómica: a) a nivel de campo por consulta experta, b) por cotejo con bases de datos fotográficos de biodiversidad de ecosistemas de la Cadena Volcánica Occidental, c) en laboratorio de taxonomía vegetal de CUNOROC con referencia a Flora of Guatemala (Standley & Steyermark, 1947-1977) y d) bibliografía especializada de publicaciones relacionadas con diversidad florística de la región, informes técnicos y científicos de autoridades en botánica sistemática e investigaciones regionales.

La diversidad de especies identificadas y las variables colectadas en campo se registraron en la base general de datos previamente elaborada (Godínez, 2013).

#### 1.1.6. Diversidad alfa del área de estudio

Entendiendo la diversidad alfa como un resultado del proceso evolutivo, manifestado en la existencia de diversas especies dentro de un determinado hábitat (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para evaluación de la biodiversidad, 2001) y además, que es una medida de diversidad puntual o aplicable a pequeñas áreas, como el interior de las comunidades (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para evaluación de la biodiversidad, 2001) bióticas o sitios de muestreo. Para el área de estudio, se tomó como unidad de análisis de la diversidad alfa las comunidades vegetales que se definieron en función de la similitud vegetal, ya que cada una de estas son áreas pequeñas y homogéneas en cuanto a su diversidad vegetal.

Para entender el comportamiento de la diversidad de cada una de las comunidades vegetales se calcularon dos índices tales como:

##### a. El índice de Shannon-Wiener (H')

Es un índice de equidad para evaluar diversidad alfa y expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de un sitio o hábitat evaluado (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para evaluación de la biodiversidad, 2001), permite conjugar la riqueza y la abundancia relativas (Melo Cruz & Vargas Ríos, 2002). Mide el grado promedio de incertidumbre en la predicción de la identidad de la especie a que pertenece un individuo escogido al azar (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995 citados por Halffter, Moreno, & Pineda, 2001). Este índice se calculó con base a la ecuación siguiente:

$$H' = -\sum P_i * \ln P_i = -\sum \text{abundancia relativa} * \text{logaritmo natural de la abundancia relativa}$$

##### b. El índice de Equitatividad de Pielou (€)

Definida como la relación entre el índice de Shannon-Wiener y el logaritmo natural de la riqueza de especies. Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes según Magurran, (1988 citado por Halffter, Moreno, & Pineda, 2001). Este índice se calcula con base a la ecuación siguiente:

$\epsilon = H'/\ln F =$  Índice de Shannon-Wiener/logaritmo natural de la riqueza específica o número de especies

### 1.1.7. Diversidad beta del área de estudio

Para el análisis de la diversidad beta de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, se utilizaron como áreas bases las unidades climáticas previamente definidas.

Se utilizaron estas unidades como base para el análisis de la diversidad beta, puesto que son áreas grandes, y son más heterogéneas ya que según el concepto de diversidad beta, propuesto por Whittaker (1960) es aplicable para evaluar el recambio o diferenciación en la composición específica entre sitios, un paisaje o un área ecológica heterogénea, en la que se realizan evaluaciones de biodiversidad (Soberón M., Llorente Busquets, & Luis M., 2005). Este nivel de diversidad beta es una medida del grado de partición del ecosistema o paisaje evaluado, que corresponden a parches o mosaicos biológicos, midiendo el *continuum de hábitats* diferentes en el espacio según Halfer (1992 citado por Melo Cruz & Vargas Ríos, 2002).

Contribuye a un mejor entendimiento de la estructura de los ensambles de especies a través del espacio. El comportamiento y propiedades del componente beta de la biodiversidad, se relaciona directamente con el grado de endemismo de la biota y el rango de distribución geográfica de especies (Soberón M., Llorente Busquets, & Luis M., 2005).

Por otro lado, como la diversidad beta es una medida que expresa la similitud o disimilitud en un rango de hábitats o sitios de muestreo, en términos de variedad y a veces abundancia de especies existentes. Cuantas menos especies compartan los hábitats o sitios de muestreo, mayor es la diversidad beta (Melo Cruz & Vargas Ríos, 2002), se determinaron comunidades florísticas por cada unidad climática bajo el criterio de similitud, para ello, se utilizaron los hábitos de crecimiento de árbol y arbusto, individuos generalmente dominantes en cobertura y los que definen la composición florística de un sitio. Primero se determinó la similitud de unidades de muestreo que corresponde a cada punto-cuadrante de Cottam y Curtis (1956), por medio del índice de similitud de Sørensen (Mostacedo & Fredericksen, 2000). Por medio de la ecuación 1, y utilizando la información de presencia/ausencia de la especie en cada combinación de parejas de unidades de muestreo comparadas, se generó el valor de similitud.

$$IS = \frac{2c}{a+b} * 100 \text{ Ec. 1}$$

Referencias: IS: índice de Sørensen,  
a: número de especies halladas en el sitio a  
b: número de especies halladas en el sitio b  
c: número de especies comunes en ambos sitios de  
evaluación.

Los valores de similitud por parejas de unidades de muestreo comparadas, se utilizaron para construir la matriz Q o de similitud; la que se procesó por medio del software PSPP edición libre con el método multivariado de socios (cluster) utilizando distancia euclidiana. El resultado fue la generación de un dendrograma, que agrupó las unidades con diversos grados de similitud. El criterio que se utilizó para la definición de comunidades florísticas, fue un nivel de similitud igual o mayor a 0.7 (Basilio J., 2002).

### 1.1.8. Denominación y delimitación de comunidades florísticas

Para la denominación de las comunidades florísticas que se diferenciaron en cada región fisiográfico-florística, se estimó el índice de valor de importancia –IVI, de la diversidad florística de árboles y arbustos en las unidades de muestreo de cada comunidad florística diferenciada.

La estimación del IVI propuesto por Cottam y Curtis (1956) para árboles se modificó basándolo en dos indicadores, la frecuencia relativa y la densidad relativa, debido al limitante socio-política de realizar mediciones de diámetro en la totalidad de unidades de muestreo evaluadas. Para los arbustos se utilizaron los mismos indicadores, citando las ecuaciones utilizadas.

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Número de unidades muestrales con presencia de la especie } x}{\text{Número total de unidades muestrales}} * 100$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de individuos de la especie } x}{\text{Número de individuos de todas las especies}} * 100$$

Se ordenaron los listados de especies de árboles y arbustos por comunidad florística, de mayor a menor según el valor del IVI. Para la denominación se utilizaron los dos primeros nombres de las especies dominantes de árboles y arbustos.

## **1.2. Calendario Fenológico de las principales especies que definen la composición florística de los bosques de las diferentes unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate**

Para definir un calendario fenológico de las principales especies que definen la composición florística del área de estudio, se consideró dos aspectos importantes, los cuales son:

### **1.2.1. Forma de colecta de información sobre la fenología de la vegetación**

El registro fenológico se obtuvo al procesar los datos, tomados en campo durante el muestreo de la vegetación. Los datos fenológicos registrados se obtuvieron por medio de dos fuentes: a) observación de flores, frutos, brotes en las plantas evaluadas en el campo (RERB, sf.) y b) información del estado fenológico de las plantas evaluadas proporcionada por los guías de campo, quienes han realizado observaciones en las plantas durante un largo período de tiempo y además, han estado en contacto directo con la vegetación. En el campo se registraron los siguientes datos: a) La fecha de observación y b) el estado o la condición de la fenología existente, clasificada así, la planta posee brote "1", la planta presenta floración "2", la planta presenta fructificación y semillas "3" y ya sea que la planta posee flores y frutos o posee flores y semillas "4".

### **1.2.2. Fenología por forma de crecimiento**

Para generar el calendario fenológico se tomaron en cuenta únicamente dos formas de crecimiento de la vegetación: árboles y arbustos, puesto que son las formas con mayor influencia sobre la vegetación menor, además, son las más sensibles a los factores ambientales. Aun que, en la base general de datos se registró el comportamiento fenológico de la vegetación para hierbas, epífitas y lianas.

### **1.3. Especies potenciales como indicadores de cambio climático en base a las unidades climáticas, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate**

A continuación se describe el fundamento teórico de los grupos taxonómicos de especies bioindicadores para el área de estudio, lo que ayudó a seleccionar y definir las especies bioindicadoras del área estudiada.

#### **1.3.1. Fundamento teórico de grupos taxonómicos de especies bioindicadores de cambio climático**

##### **a. Factores y manifestaciones de cambio climático**

Los cambios en el clima ya han generado cambios observados en los rangos de distribución, composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas según McCarty (2001 citado por Locatelli, 2006). Al cambiar las condiciones ambientales, se facilita la colonización de otras especies, lo cual modifica la distribución espacial y la composición (Cramer, 2001) de las comunidades vegetales y ecosistemas. La vulnerabilidad de las especies al cambio climático aumenta si sus poblaciones son reducidas o son sensibles a cambios en su distribución geográfica (IPCC, 2002). Las especies más sensibles a cambio climático son aquellas que se encuentran en las márgenes geográficas de su distribución, según sugieren Retuerto y Carballeira (2004) (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

Los impactos directos del cambio climático sobre la diversidad vegetal, se produce a través del calentamiento o aumento de temperatura (Cuesta Camacho, Peralvo, & Ganzenmuller, 2008) y la reducción de las disponibilidades hídricas, considerados efectos antagónicos (Moreno Rodríguez, 2005). La reserva de agua en el suelo disminuye al aumentar la temperatura y la demanda evaporativa de la atmósfera (Moreno Rodríguez, 2005).

Las zonas altas de las montañas y los ambientes más secos, son los más vulnerables al cambio climático (Moreno Rodríguez, 2005). Así la vegetación de alta montaña y los bosques caducifolios sensibles a la sequía se cuentan entre los tipos de vegetación más vulnerables (Moreno Rodríguez, 2005) a los efectos del cambio climático.

Los cambios en los promedios, la distribución y la frecuencia a lo largo del año, de temperatura y precipitación y los eventos extremos, influyen directamente en el crecimiento de los árboles, en especial las especies que se encuentran en los límites de los ecosistemas (Locatelli, 2006).

Los bosques templados fríos y semicálidos de montaña, son los tipos de vegetación más sensibles al cambio climático con tendencia a desaparecer con el incremento de temperatura (Villers-Ruiz & Trejo-Vásquez). Los ecosistemas tropicales son los más sensibles a los cambios en precipitación (Emanuel, et al., 1985, Kauppi & Posh, 1985 y Bolin, et al., 1986 citado por Villers-Ruiz & Trejo-Vásquez).

Un aumento de temperatura y una disminución de la humedad, influiría en el establecimiento de las especies a una mayor altitud (Villers-Ruiz & Trejo-Vásquez). El aumento de temperatura favorecería el establecimiento de comunidades tropicales, restando superficie a los bosques templados de encino (género *Quercus*) y de coníferas (género *Pinus*) existentes en los climas templados y semifríos (Villers-Ruiz & Trejo-Vásquez).

##### **b. Bioindicadores forestales de sensibilidad al cambio climático**

En España se ha determinado que el *Pinus halepensis* es una especie sensible a la sequía y dependiente de la precipitación como fuente de agua (Ferrio et al., 2003 citado por Valladares, Peñuelas, & de Luis Calagbuig, sf).

*Abies* y *Pinus* son géneros con tolerancias restringidas al aumento de temperatura (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

*Abies* y *Cupressus lusitanica* son género y especie vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a su baja tolerancia térmica (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

*Pinus hartwegii* es vulnerable al aumento de temperatura y como consecuencia es afectado por plagas, por falta de suficiente frío para eliminarlas (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

Las especies de *Quercus crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. eliptica* se distribuyen a una elevación mayor a 2700 msnm en la zona montañosa de México, se consideran las más vulnerables al cambio climático (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

Los géneros neotropicales *Calliandra*, *Dendropanax*, *Miconia*, *Mimosa* y *Saurauia*, habitan bosques templados y mesófilos (Castillo, et al., 2004) se han adaptado a condiciones más tropicales y se considera que sería menos vulnerables al cambio climático (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

Las formas de vida más vulnerables a los efectos del cambio climático son las arbóreas de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies*, debido a su estrecho rango de tolerancia térmica (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008), que habitan los ecosistemas montanos de mesoamérica.

Las especies arbóreas de *Pinus* y *Quercus* presentes en bosques templados, manifiestan amplias diferencias térmicas, lo que se debe a la gran diversidad de especies dentro de estos géneros (Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

Se ha establecido en los bosques de España que las especies *Pinus nigra*, *P. sylvestris*, manifiestan alta y mediana vulnerabilidad a la sequía respectivamente (Herranz Sanz & Ferrandis G., 2006) y el grupo de especies denominadas robles *Quercus humilis*, *Q. faginea*, *Q. petrea* y *Q. robur* manifiestan mediana vulnerabilidad a la sequía, y *Pinus pinea*, *Quercus subere* y *Q. ilex* manifiestan baja vulnerabilidad a la sequía (Banqué Casanovas, Grau Ripoll, Martínez-Villalta, & Vaydera Duran, 2013).

En conclusión, se infiere que los géneros *Quercus*, *Pinus*, *Abies*, *Cupressus* son sensibles a los efectos del cambio climático, por lo que se infiere que son potenciales bioindicadores útiles para la generación de escenarios futuros de los efectos del cambio climático.

### c. Criterios de selección de grupos o especies bioindicadoras

Las especies indicadoras de los efectos del cambio climático, son aquellas que eluden la sequía y dependen de las precipitaciones más directamente según Ferrio et al. (2003 citado por Valladares, Peñuelas, & de Luis Calagbuig, sf).

Otro criterio para la selección de especies indicadoras de cambio climático, comprende la identificación de especies dominantes fisionómicas según Laurent y Vila (2003 citados por Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008), las cuales tienen la característica de sobrevivir a variaciones del clima por largos períodos, constituyendo un recurso excelente para estudiar los efectos del cambio climático (Díaz et al. 1999; Kahmen & Poschlod 2004 citados por Gómez-Mendoza, Galicia, & Aguilar-Santelises, 2008).

En España se han analizado más de 60 bosques de coníferas de diferentes condiciones ambientales, estableciendo que estos presentaron una variabilidad creciente reflejando el aumento de la variabilidad climática (Tardif et al. 2003, Camarero y Gutierrez 2004 citados por (Valladares, Peñuelas, & de Luis Calagbuig, sf).

Los criterios propuestos por Villareal et al. (2006 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006) para la selección de bioindicadores comprenden 8 ítems:

- (a) Taxonomía bien conocida y estable. Las especies con que se trabaje deben ser de fácil identificación.
- (b) Historia natural bien conocida. Entre más numerosos y completos sean los estudios sobre el taxón alrededor del mundo, más respaldo se tendrá para la interpretación de resultados.
- (c) Taxones superiores con distribución en un amplio rango geográfico. Los taxones y sus especies deben encontrarse en diferentes ecosistemas.
- (d) Abundantes y de fácil observación y manipulación. No debe ser necesario mucho esfuerzo para encontrar individuos del grupo objeto, al igual que deben ser de fácil reconocimiento.
- (e) Taxones inferiores (especies y subespecies) con especificidad de hábitat y sensibles a cambios. El grado de sensibilidad del grupo objeto es útil para cuantificar disturbios o impactos si se generan cambios en el hábitat.
- (f) Grupo altamente diversificado taxonómica y ecológicamente. Es importante que el grupo objeto presente un número de especies tal, que brinde información de lo que se desea contestar a la escala trabajada.
- (g) Presentar poca estacionalidad. Es importante que las especies del grupo objeto posean pocas fluctuaciones poblacionales relacionadas con los cambios ambientales.
- (h) Patrones de diversidad extrapolable a otros taxones relacionados y no relacionados.

Los criterios deben ser valorados para determinar su selección, para el efecto Halffter et al. (2001 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006) propone criterios de valoración de bioindicadores, en los que la sensibilidad a cambios o disturbios antrópicos es el más importante. El desarrollo metodológico es el siguiente:

- (a) Primero: Se categorizan los criterios en orden inverso de importancia, tal como se citan
  - Taxón con amplia distribución y presente en diferentes ecosistemas
  - Patrones de diversidad aplicables a otros taxones relacionados y no relacionados
  - Historia natural bien conocida.
  - Abundantes y de fácil observación y manipulación
  - Taxonomía bien conocida
  - Taxa especializados y sensibles a cambios de hábitat
- (b) Segundo: Se estima el valor de la importancia de un grupo sumando las puntuaciones de los criterios y se compara con el valor máximo hipotético.

Si un grupo o especie no cumple con un criterio, se le asigna el valor 0.

El valor máximo hipotético será:

En este ejemplo el valor máximo es:  $1+2+3+4+5+6=21$  y este valor equivale a 100%.

- (c) Tercero: El resultado porcentual, se compara con las siguientes categorías, para definir su estatus final
  - >90% = Muy buen indicador.
  - 75-89% = Buen indicador.
  - < 74% = No se sugiere como indicador.

### **1.3.2. Selección de grupos taxonómicos de especies bioindicadores de cambio climático**

#### **a. Selección de especies bioindicadores de cambio climático**

Con base a los criterios de selección de especies bioindicadoras, revisados en la literatura según el apartado 1.3.1.c anteriormente descrito, se utilizó como guía de selección para el área objeto de estudio, los criterios propuestos por Villareal et al. (2006 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006), basados en 8 ítems que va de (a) a (h).

A parte de estos ítems, se tomó como criterio de selección la distribución por amplitud altitudinal y el comportamiento fenológico de las especies o grupos taxonómicos evaluados.

#### **b. Valoración de grupos de especies indicadoras de cambio climático**

Cada uno de los criterios propuestos por Villareal et al. (2006 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006), para la selección de las especies bioindicadoras, se sometieron a una valoración para determinar su selección, para el efecto Halffter et al. (2001 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006) propone criterios de valoración de bioindicadores, en los que la sensibilidad a cambios o disturbios antrópicos es el más importante. El desarrollo metodológico de la valoración, es un tanto subjetivo, pero toma en cuenta la experiencia del investigador, así como permite inferir y tomar en cuenta la información del comportamiento de los datos evaluados de campo para las especies, de tal forma que dicha valoración se desarrolló según los tres pasos de (a) a (c) propuestos por Halffter et al. (2001 citado por Cárdenas Chávez, Calles López, & Peña, 2006) descritos en el apartado 1.3.1.c del presente documento.

#### **c. Visualización de la distribución general de grupos taxonómicos indicadoras de cambio climático**

De la base general de datos de evaluación de la composición florística de la parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate, se tomaron datos de coordenadas y nombres de los grupos taxonómicos de especies previamente valoradas y seleccionadas como bioindicadores, lo cual, permitió generar con el programa GV SIG, un mapa general de la distribución geográfica actual de dichos grupos a nivel del área de estudio.

### **1.4. Escenarios posibles del impacto del cambio climático sobre los bosques, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate**

#### **1.4.1. Modelos de cambio Climático**

Para la construcción de escenarios actuales y futuros en el área, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate se utilizaron como base los datos de climatología descargados de WorldClim (Hijmans et al. 2005) libres para el público. Específicamente se descargaron datos del período 1960-1990 (interpolaciones de los datos observados para este período) denominados como condiciones actuales y datos de clima futuro del período año 2041 al año 2060, éstos, son un conjunto de datos climáticos globales en formato raster GeoTIFF, a una resolución espacial de 1 Km<sup>2</sup> (30 segundos de arco), preparados por el Programa de Investigación Mundial sobre el Clima (WCRP), del grupo CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5), además, usados en el reporte AR5 del IPCC. En la página web indicada anteriormente están disponibles en el marco del modelo del CCSM4 (Community Climate System Model, versión 4) ya que este es un modelo climático acoplado para simular el sistema climático de la tierra (Oglesby & Rowe, sf.). Los datos del futuro (años 2041 a 2060) se descargaron del CCSM4, como factores bioclimáticos (19 factores)

para 4 grupos de escenarios según trayectorias de concentración representativa (RCP): RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, cada escenario RCP provoca diferente forzamiento radiativa por la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera de la tierra. Según el panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014) el RCP2.6 se interpreta como de concentraciones bajas y el RCP8.5 con vías de concentración al límite superior de contaminación.

Los archivo raster fueron cortados a través de GVsí, para un área de influencia mayor al área objeto de investigación, con el fin de una mejor interpretación de los escenarios a producir. Se consideró cuidadosamente el mantenimiento del sistema de proyección de cada archivo en el procesamiento.

#### 1.4.2. Construcción de escenarios

La construcción de los escenarios se realizó utilizando el software denominado MaxEnt 3.3.3 y GVsí de uso libre, con base al procedimiento descrito a continuación:

- a. Se convirtieron los archivos raster Geo TIFF previamente recortados, de formato con extensión “.tiff” a extensión “.acs”, tanto para escenarios presentes y futuros. Los datos bioclimáticos correspondientes a los archivos para el futuro (promedio de año 2050) según escenarios de gases de efecto invernadero, son 19 en total, los cuales se presentan en el Cuadro 25B.

Cuadro 25B: Listado de factores bioclimáticos aplicados en la modelación.

Código Factores	Nombre de los factores bioclimáticos utilizados para la evaluación
<b>bio1</b>	Temperatura media anual
<b>bio2</b>	Rango medio diurno [media mensual(Temperatura máxima-temperatura mínima)]
<b>bio3</b>	Isotermabilidad(Bio2/Bio7)( *100)
<b>bio4</b>	Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar *100)
<b>bio5</b>	Temperatura máxima del mes más cálido
<b>bio6</b>	Temperatura mínima del mes más frío
<b>bio7</b>	Rango de Temperatura Anual (BIO5-BIO6)
<b>bio8</b>	Temperatura media del trimestre más húmedo
<b>bio9</b>	Temperatura media del trimestre más seco
<b>bio10</b>	Temperatura media del trimestre más caliente
<b>bio11</b>	Temperatura media del trimestre más frío
<b>bio12</b>	Precipitación anual
<b>bio13</b>	Precipitación del mes más lluvioso
<b>bio14</b>	Precipitación del mes más seco
<b>bio15</b>	Estacionalidad precipitación (Coeficiente de variación)
<b>bio16</b>	Precipitación del trimestre más húmedo
<b>bio17</b>	Precipitación del trimestre más seco
<b>bio18</b>	Precipitación del trimestre más caliente
<b>bio19</b>	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: (Hurtado, Aguilar, 2007)

- b. Se prepararon los archivos de ubicación por especie o grupo taxonómico. Con ayuda de hoja de cálculo del paquete open office apache versión libre, se prepararon los archivos con extensión “.csv”

para cada grupo. En este archivo se incluyó el nombre de la especie o grupo taxonómico de especies bioindicadoras y las coordenadas geográficas.

- c. Con ayuda de MaxEnt 3.3.3, se procesaron los datos haciendo una correlación entre especies o grupos taxonómicos y factores bioclimáticos (ver cuadro 25B): De esta forma se generó información raster para visualización y datos estadísticos.
- d. La prueba de la modelización de MaxEnt 3.3.3 se interpretó bajo tres criterios, la **Validación de la aplicación de la Modelización MaxEnt** que consiste en evaluar previamente los colores de la imagen raster generada, para indicar la probabilidad predicha de condiciones favorables, dónde el color rojo señala las áreas con alta probabilidad de condiciones favorables para las especies consideradas, el verde indica condiciones típicas de lugares donde la especie ha sido muestreada y los tonos claros de azul indican una baja probabilidad de condiciones ambientales favorables para la especie, para esto, en MaxEnt se procesaron los datos con el método logístico, ya que es el más fácil de conceptualizar: da una estimación entre 0 y 1 de la probabilidad de presencia, donde 0 representa la más baja y 1 la más alta de encontrar el organismo en un sitio en particular (López Alvarez, 2014). El resultado logístico estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestras es tal que las localidades de presencia tienen una probabilidad de más o menos 0,5. (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). El otro criterio es **la evaluación del modelo según variación bajo la curva (AUC = área bajo la curva) de la curva ROC del inglés Receiver Operating Characteristic**, para ello fue necesario realizar el análisis en 2 grupos de datos, el de prueba (25% del total de datos que MaxEnt escogió al azar) y el de entrenamiento 75% (muestra). La interpretación consiste en que lo normal es que la curva roja (AUC muestra) aparezca por encima de la curva azul (AUC prueba). La curva roja (muestra) representa el ajuste del modelo a los datos de muestreo. La curva azul (prueba) indica el grado de ajuste del modelo a los datos de prueba y supone la prueba real del poder predictivo del modelo.
- La línea turquesa representa la línea esperada si el modelo no fuese mejor que “por azar”. Si la curva azul (prueba) cae por debajo de la línea turquesa, indica que el modelo es peor que si se hubiese hecho al azar. Por el contrario, cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias de los datos de prueba (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006).
- El AUC fluctúa entre 0 y 1, en donde un valor de 1 indica perfecta discriminación, un valor de 0.5 implica que la discriminación predictiva entre sitios no es mejor que una selección al azar, y un valor menor a 0.5 indica un desempeño inferior que el azar, donde los puntos identificados de ocurrencia de la especie que resulten excéntricos en su georeferencia. Valores de AUC de < 0.7, entre 0.7 y 0.9 y > 0.9 indican modelos pobres, modelos moderadamente útiles y excelentes modelos, respectivamente (López Alvarez, 2014).
- El último criterio es a través del **test de Jackknife** para obtener estimaciones alternativas que definen cuál de las variables contribuyeron más al modelo (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). Además consiste en retirar secuencialmente y con reemplazo de un par de datos de una base de *n* pares de datos correspondientes, que en este caso son las variables bioclimáticas y se determinó si dichas variables ambientales influyentes, muestran una característica climática del hábitat de esta especie y teniendo en cuenta que el modelo de MaxEnt, es un modelo exponencial, lo que significa que la probabilidad asignada a un píxel es proporcional al exponencial de algunas combinaciones

que se suman de las variables (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006), se observaron las curvas de respuesta de la contribución de las variables al exponente (Hurtado, Aguilar, 2007).

- e. Finalmente con ayuda de GVsigt, se convirtieron los archivos raster de extensión “.aci” generados en MaxEnt a archivos raster con extensión “.jpg” para hacer el análisis y la visualización de los cuatro escenarios tanto actuales como futuros para las diferentes especies o grupos taxonómicos.

Cuadro 26C: Leyenda Fisiográfica, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia)

Regiones fisiográficas	Unidades de ecosistemas según clasificación de INAB	Cod U.C.	Tipo de bosque (INAB 2012)	Cód UC-flo	Área (Ha)	Area (%)
Tierras Altas Volcánicas (I)	Bosques latifoliados muy húmedos submontanos (2)	1.2	Bosque latifoliado	I.2.BI	81.78	0.10
			Hule	I.2.H	25.97	0.03
			No bosque	I.2.Nb	798.04	0.97
			Plantaciones forestales	I.2.PF	3.31	0.00
	Bosques latifoliados, montano del nivel inferior (3)	1.3	Bosques de coníferas	I.3.Bc	282.88	0.34
			Bosque latifoliado	I.3.BI	4307.98	5.22
			Bosque mixto	I.3.Bm	283.30	0.34
			Cuerpo de agua	I.3.Cag	12.29	0.01
			Hule	I.3.H	4.66	0.01
			No bosque	I.3.Nb	2687.68	3.26
			Plantaciones forestales	I.3.PF	93.10	0.11
	Bosques mixtos con pino, montano del nivel inferior (4)	1.4	Bosques de coníferas	I.4.Bc	364.72	0.44
			Bosque latifoliado	I.4.BI	85.90	0.10
			No bosque	I.4.Nb	287.16	0.35
	Bosques latifoliados, montano del nivel superior (5)	1.5	Bosques de coníferas	I.5.Bc	779.63	0.95
			Bosque latifoliado	I.5.BI	2058.00	2.50
			Bosque mixto	I.5.Bm	417.48	0.51
			Hule	I.5.H	4.24	0.01
			No bosque	I.5.Nb	795.25	0.96
			Plantaciones forestales	I.5.PF	16.19	0.02
	Bosques mixtos con pino, montanos del nivel superior (6)	1.6	Árboles dispersos	I.6.Ad	272.72	0.33
			Bosques de coníferas	I.6.Bc	2490.50	3.02
			Bosque latifoliado	I.6.BI	195.79	0.24
			Bosque mixto	I.6.Bm	752.83	0.91
			Cuerpo de agua	I.6.Cag	12.85	0.02
			Hule	I.6.H	3.03	0.00
			No bosque	I.6.Nb	2456.76	2.98
			Plantaciones forestales	I.6.PF	1.62	0.00
	Bosques latifoliados, altimontanos (7)	1.7	Árboles dispersos	I.7.Ad	1.62	0.00
			Bosques de coníferas	I.7.Bc	248.81	0.30
			Bosque latifoliado	I.7.BI	534.59	0.65
			Bosque mixto	I.7.Bm	872.63	1.06
No bosque			I.7.Nb	206.08	0.25	
Bosques mixtos con pino, altimontanos (8)	1.8	Árboles dispersos	I.8.Ad	398.12	0.48	
		Bosques de coníferas	I.8.Bc	2044.13	2.48	
		Bosque latifoliado	I.8.BI	86.70	0.11	
		Bosque mixto	I.8.Bm	1237.80	1.50	
		Hule	I.8.H	1.17	0.00	
		No bosque	I.8.Nb	2608.18	3.16	
		Plantaciones forestales	I.8.PF	2.35	0.00	
Bosques de coníferas, altimontanos (9)	1.9	Árboles dispersos	I.9.Ad	112.41	0.14	

		Bosques de coníferas	I.9.Bc	1027.13	1.25	
		No bosque	I.9.Nb	548.42	0.66	
		Plantaciones forestales	I.9.PF	1.22	0.00	
	Sistema productivo dominado por latifoliadas (10)	I.10	Bosques de coníferas	I.10.Bc	0.67	0.00
			Bosque latifoliado	I.10.BI	1.95	0.00
			No bosque	I.10.Nb	0.56	0.00
	Sistema productivo dominado por bosque mixto (11)	I.11	Árboles dispersos	I.11.Ad	942.42	1.14
			Bosques de coníferas	I.11.Bc	826.75	1.00
			Bosque latifoliado	I.11.BI	21.62	0.03
			Bosque mixto	I.11.Bm	210.83	0.26
			No bosque	I.11.Nb	6279.64	7.61
			Plantaciones forestales	I.11.PF	0.92	0.00
	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y/o cacao, y/o cardamomo, 25-50% (12)	I.12	Bosques de coníferas	I.12.Bc	270.97	0.33
			Bosque latifoliado	I.12.BI	342.35	0.42
			Bosque mixto	I.12.Bm	1.50	0.00
			Cuerpo de agua	I.12.Cag	20.19	0.02
			Hule	I.12.H	0.96	0.00
			No bosque	I.12.Nb	1580.90	1.92
	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y/o cacao, y/o cardamomo, mas del 50% (13)	I.13	Plantaciones forestales	I.12.PF	212.11	0.26
			Bosques de coníferas	I.13.Bc	29.19	0.04
			Bosque de galería	I.13.Bg	10.50	0.01
			Bosque latifoliado	I.13.BI	2218.78	2.69
			Bosque mixto	I.13.Bm	44.87	0.05
			Cuerpo de agua	I.13.Cag	24.33	0.03
Hule			I.13.H	114.00	0.14	
No bosque			I.13.Nb	7729.03	9.37	
Urbanización (15)	I.15	Plantaciones forestales	I.13.PF	205.64	0.25	
		Bosques de coníferas	I.15.Bc	25.08	0.03	
Pendiente Volcánica Resiente (II)	Bosques latifoliados muy húmedos de bajura (1)	II.1	No bosque	I.15.Nb	304.45	0.37
			Bosque latifoliado	II.1.BI	28.64	0.035
			Hule	II.1.H	93.21	0.113
	Sistema productivo dominado por latifoliadas (10)	II.10	No bosque	II.1.Nb	86.66	0.105
			Bosque de galería	II.10.Bg	0.14	0.000
			Bosque latifoliado	II.10.BI	95.10	0.115
			Bosque mixto	II.10.Bm	17.72	0.021
			Cuerpo de agua	II.10.Cag	10.09	0.012
			Hule	II.10.H	499.28	0.605
			Humedales	II.10.Hd	0.03	0.000
	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y/o cacao, y/o cardamomo, 25-50% (12)	II.12	No bosque	II.10.Nb	827.95	1.004
			Bosque latifoliado	II.12.BI	0.42	0.001
			Bosque mixto	II.12.Bm	0.04	0.000
			Hule	II.12.H	0.13	0.000
		II.13	No bosque	II.12.Nb	60.32	0.073
Bosques de coníferas			II.13.Bc	44.84	0.054	
		Bosque de galería	II.13.Bg	47.62	0.058	

	Sistema productivo dominado por latifoliadas y café y/o cacao, y/o cardamomo, mas del 50% (13)		Bosque latifoliado	II.13.BI	602.94	0.731
			Bosque mixto	II.13.Bm	55.54	0.067
			Cuerpo de agua	II.13.Cag	115.20	0.140
			Hule	II.13.H	1511.22	1.832
			No bosque	II.13.Nb	13264.43	16.082
			Plantaciones forestales	II.13.PF	113.67	0.138
	Mono cultivo, caña de azúcar (14)	II.14	Bosque de galería	II.14.Bg	8.51	0.010
			Bosque latifoliado	II.14.BI	183.88	0.223
			Bosque mixto	II.14.Bm	0.83	0.001
			Cuerpo de agua	II.14.Cag	50.07	0.061
			Hule	II.14.H	1467.23	1.779
			Humedales	II.14.Hd	54.05	0.066
	Llanura Costera del Pacífico (III)	Bosques latifoliados muy húmedos de bajura (1)	III.1	Bosque latifoliado	III.1.BI	110.11
Cuerpo de agua				III.1.Cag	10.33	0.01
Hule				III.1.H	144.47	0.18
No bosque				III.1.Nb	627.73	0.76
Sistema productivo dominado por latifoliadas (10)		III.10	Bosque de galería	III.10.Bg	7.69	0.01
			Bosque latifoliado	III.10.BI	216.55	0.26
			Cuerpo de agua	III.10.Cag	45.23	0.05
			Hule	III.10.H	864.83	1.05
			No bosque	III.10.Nb	1781.76	2.16
Sistema productivo dominado por latifoliada y café y/o cacao, y/o cardam		III.13	Hule	III.13.H	0.04	0.00
			No bosque	III.13.Nb	0.65	0.00
Mono cultivo, caña de azúcar (14)		III:14	Bosque de galería	III.14.Bg	10.26	0.01
			Bosque latifoliado	III.14.BI	65.95	0.08
	Cuerpo de agua		III.14.Cag	119.86	0.15	
	Hule		III.14.H	392.87	0.48	
	No bosque		III.14.Nb	2734.78	3.32	
	Plantaciones forestales		III.14.PF	4.41	0.01	
<b>Total</b>					<b>82479.55</b>	<b>100</b>

Referencia: U.C= Unidad climática, Cod = Código y flo= florística

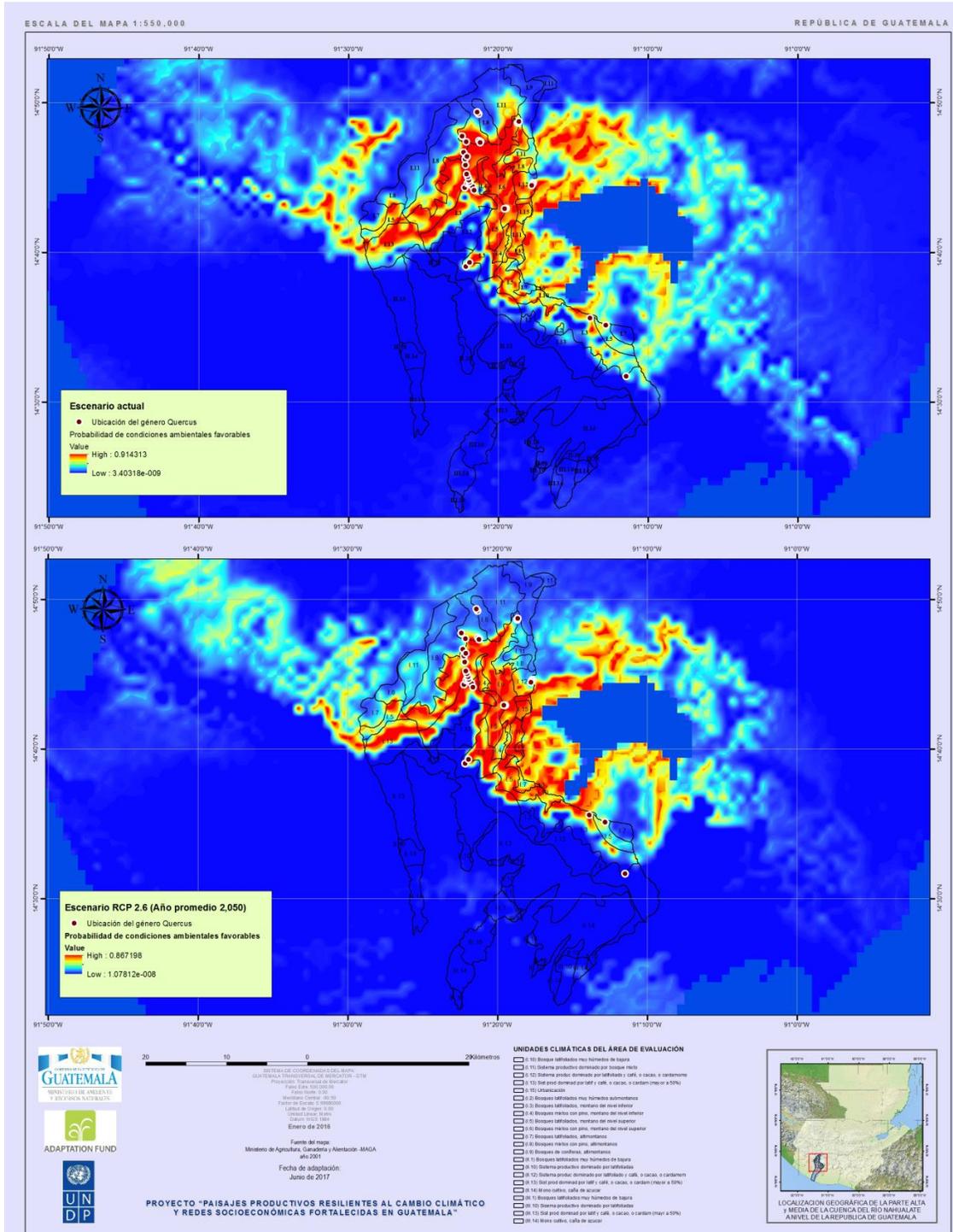


Figura 46C: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género *Quercus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).



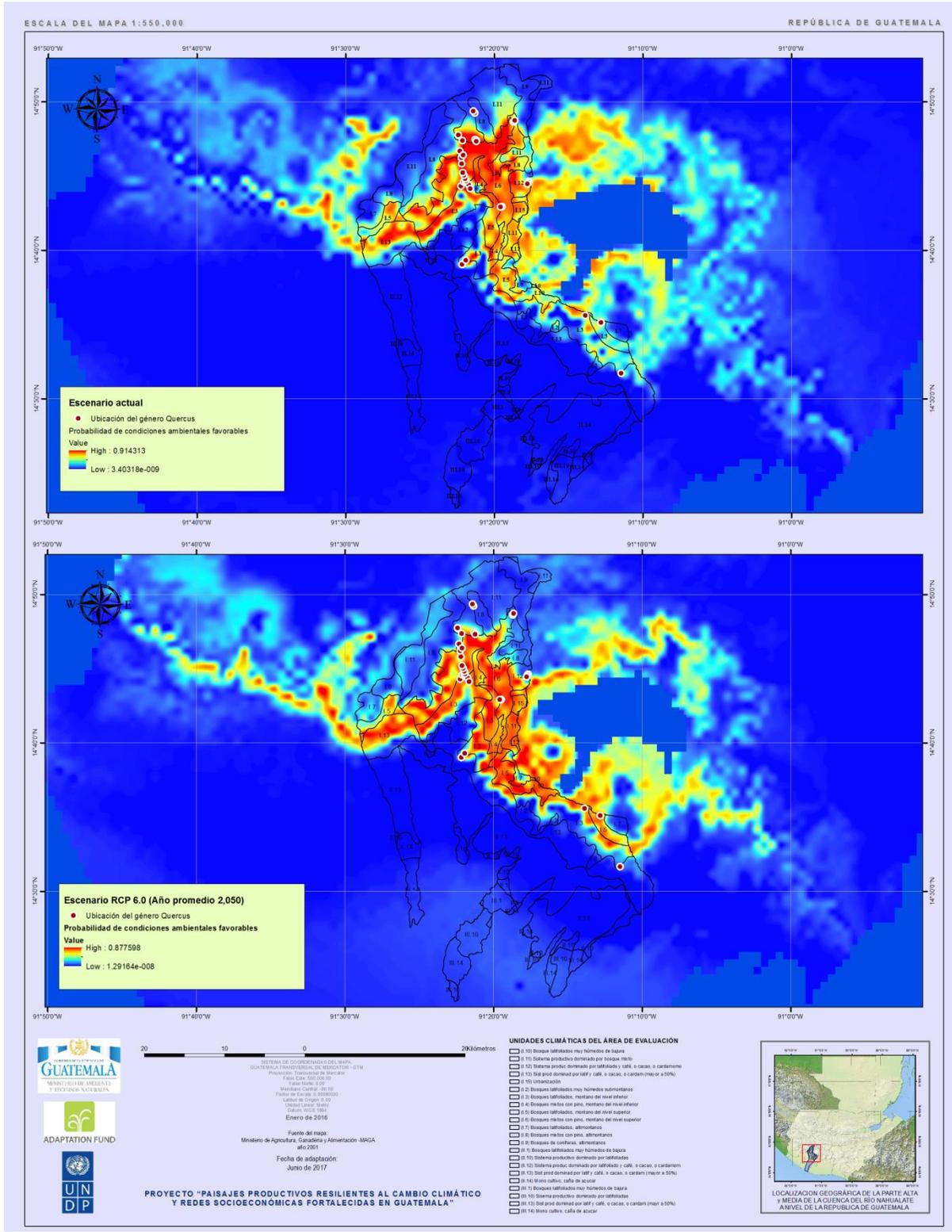


Figura 48E: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 6.0) para género *Quercus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).



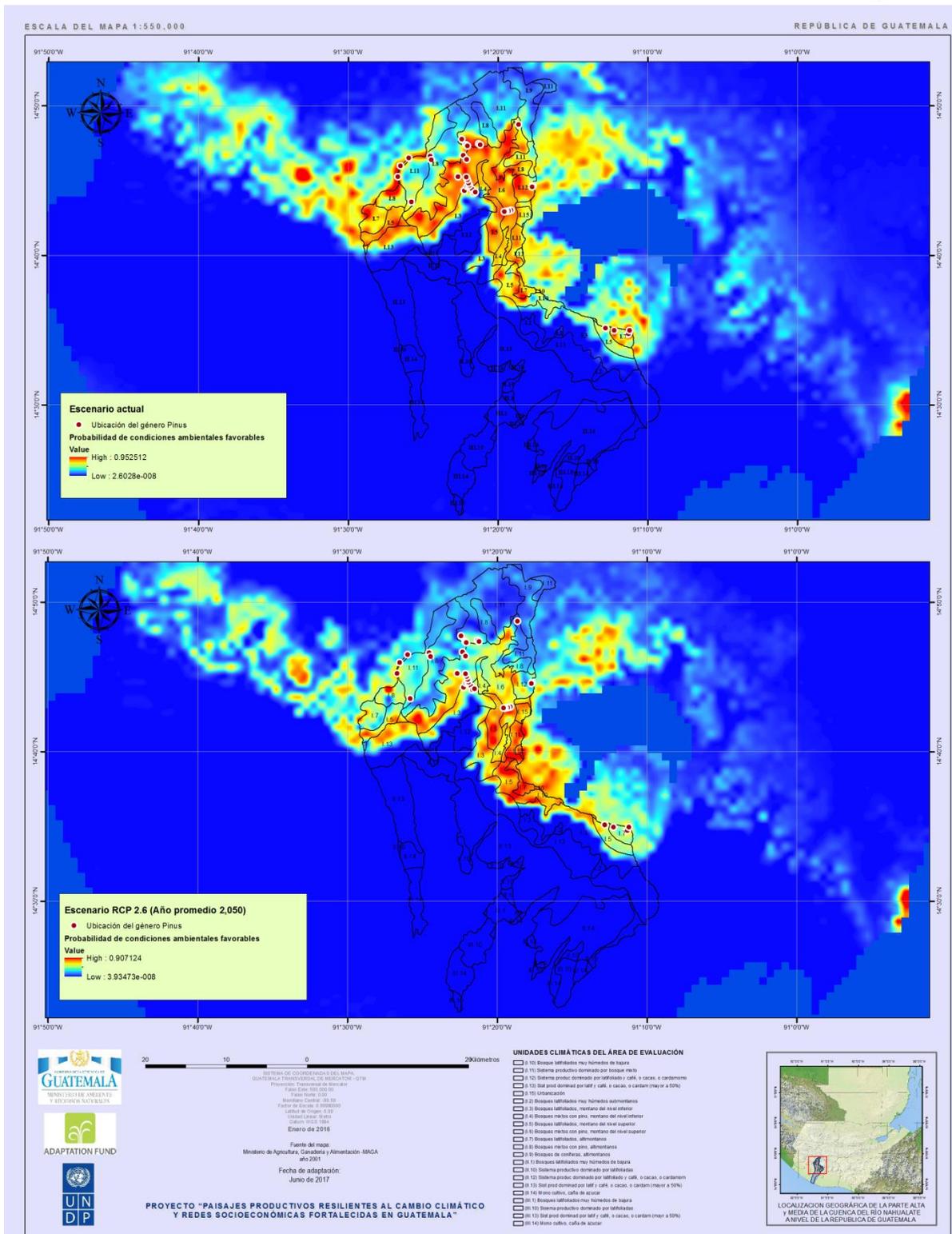


Figura 50G: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género *Pinus* parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia).

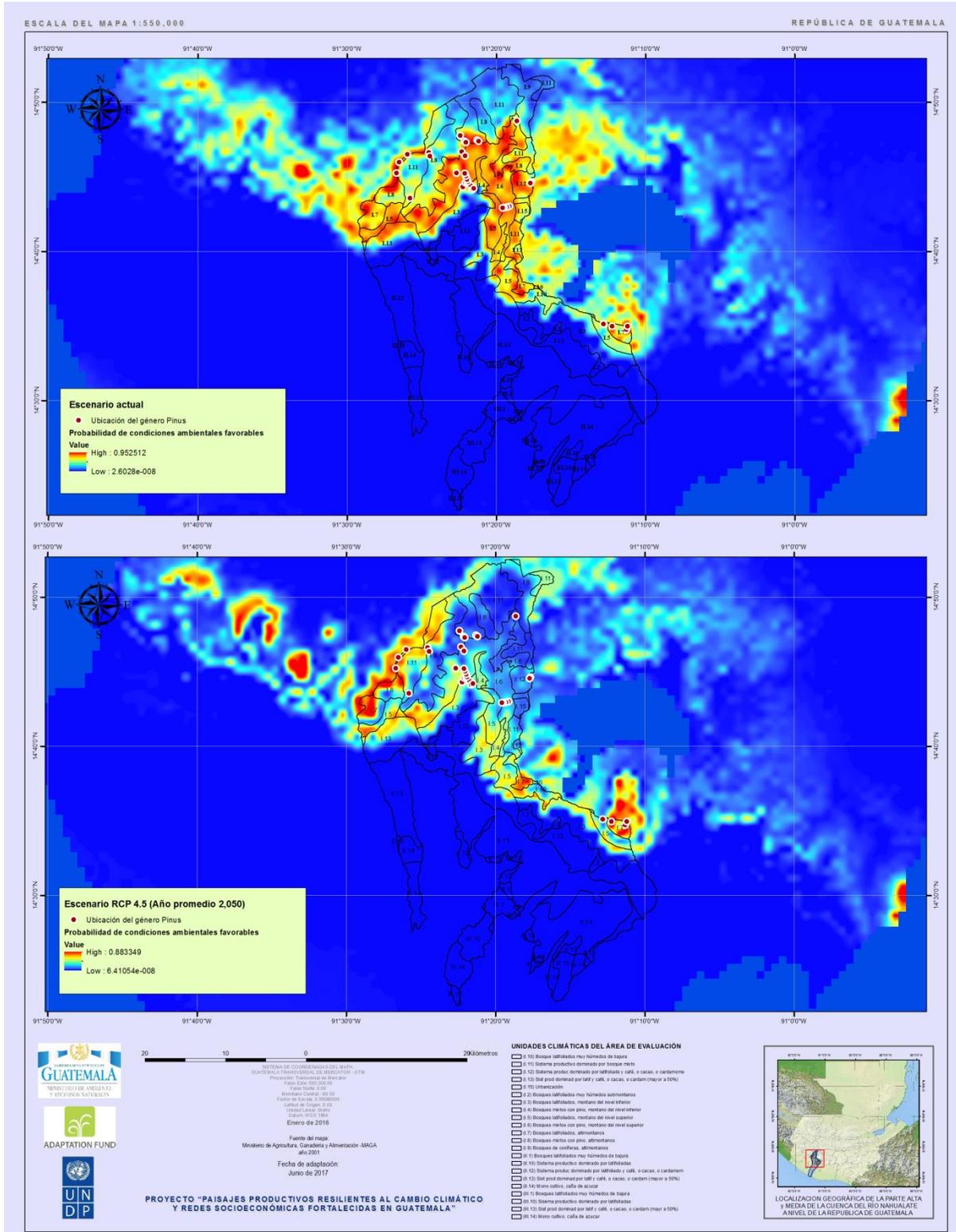


Figura 51H: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 4.5) para género *Pinus* parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia).

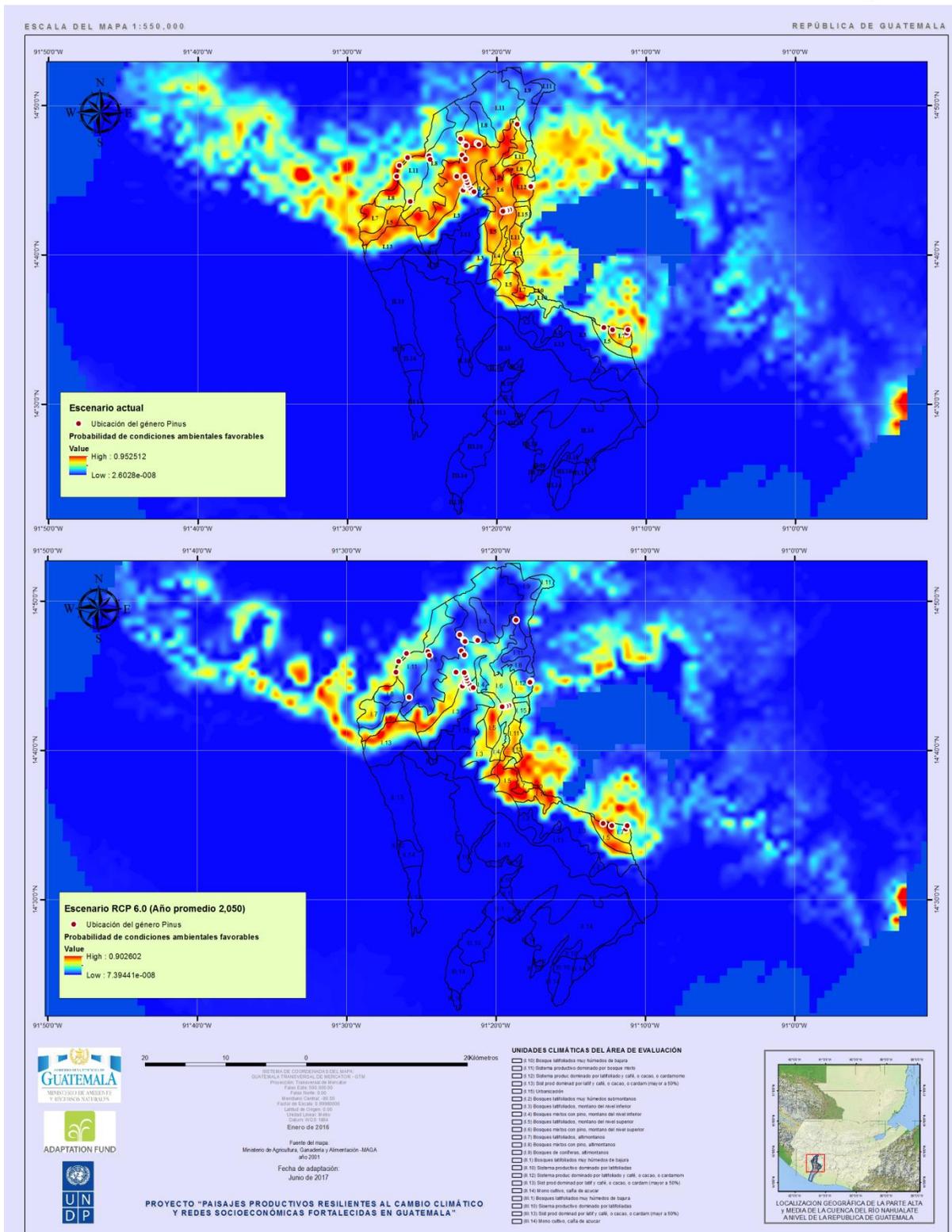


Figura 52I: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 6.0) para género *Pinus* parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

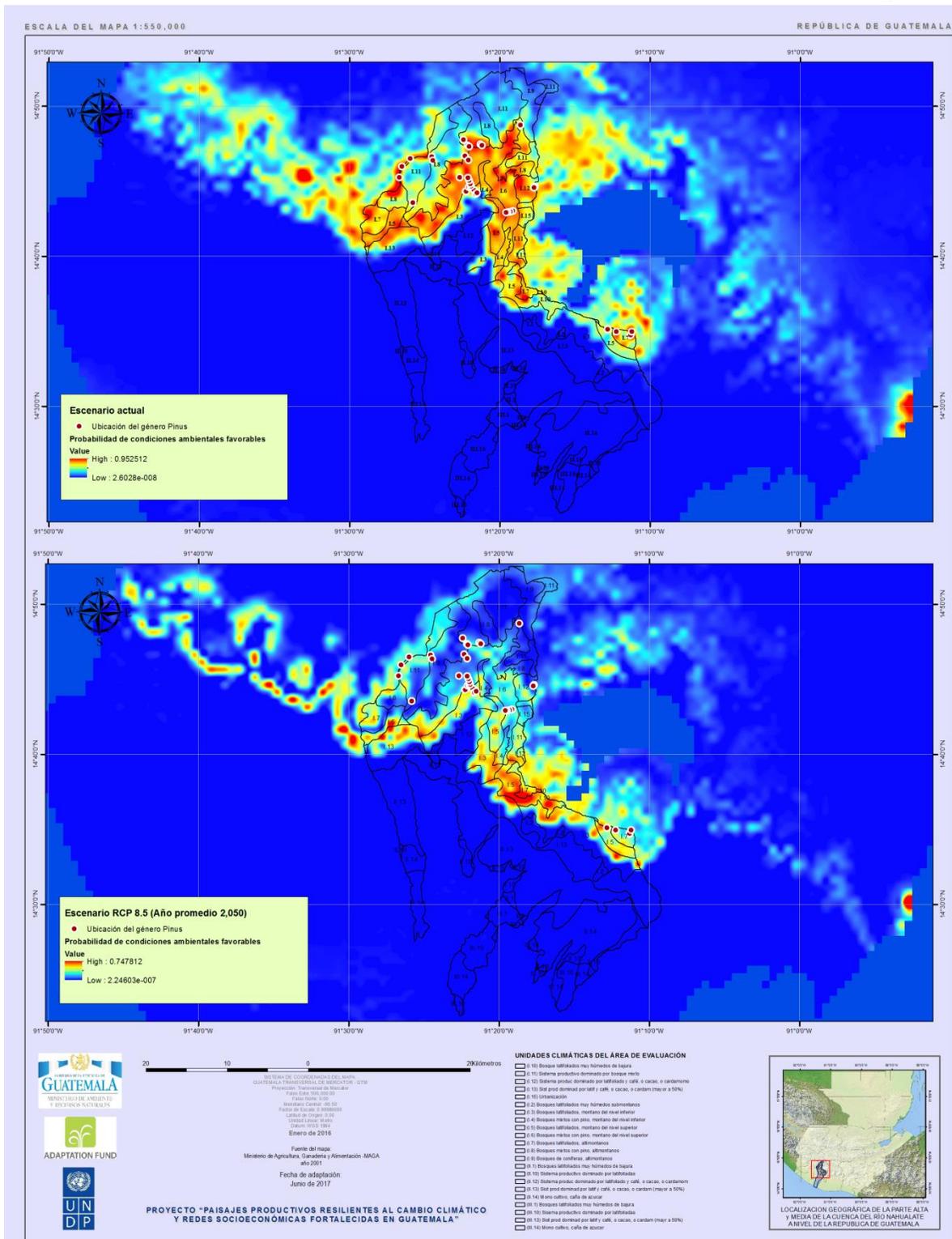


Figura 53J: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 8.5) para género *Pinus* parte alta de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

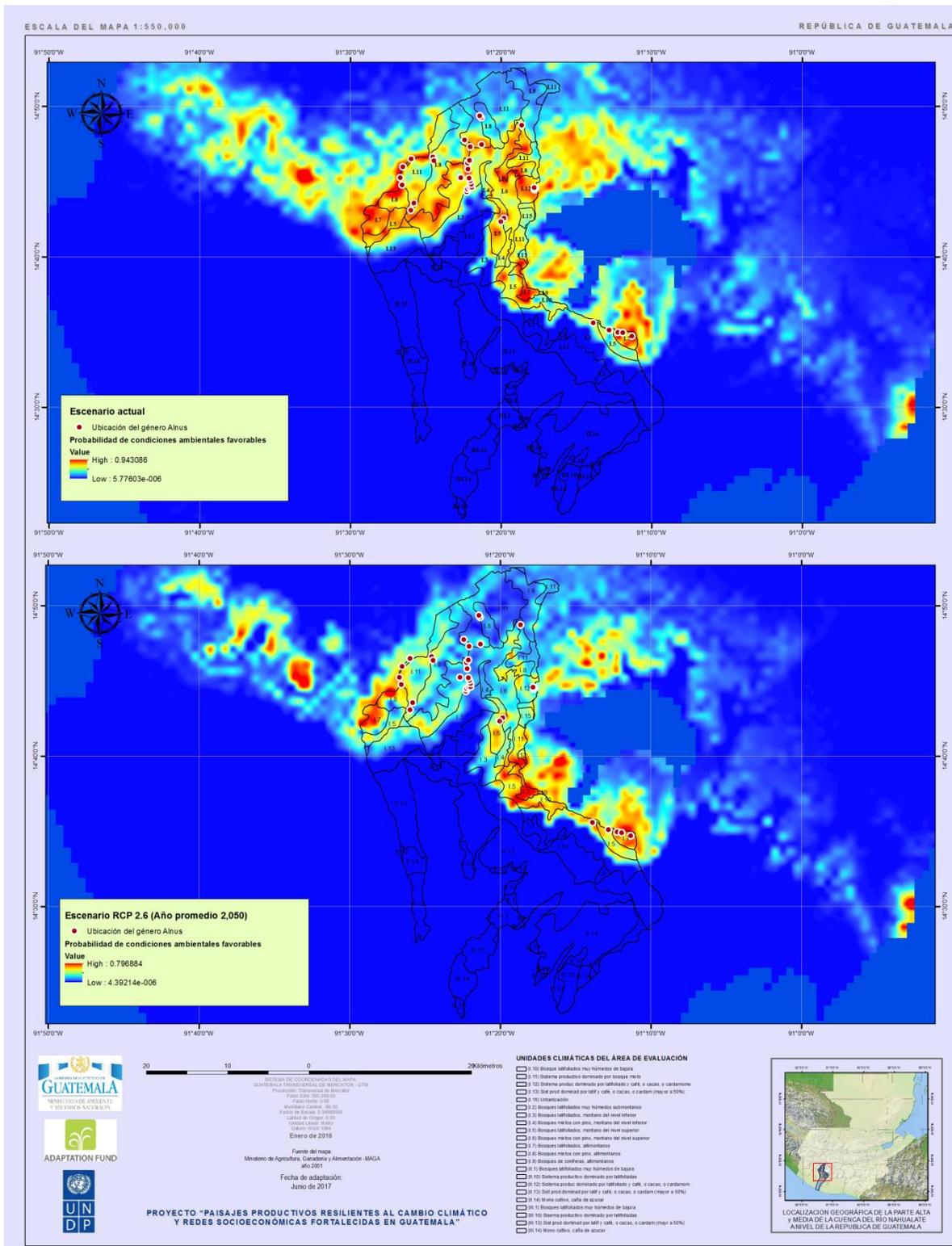


Figura 54K: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP 2.6) para género *Alnus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia).

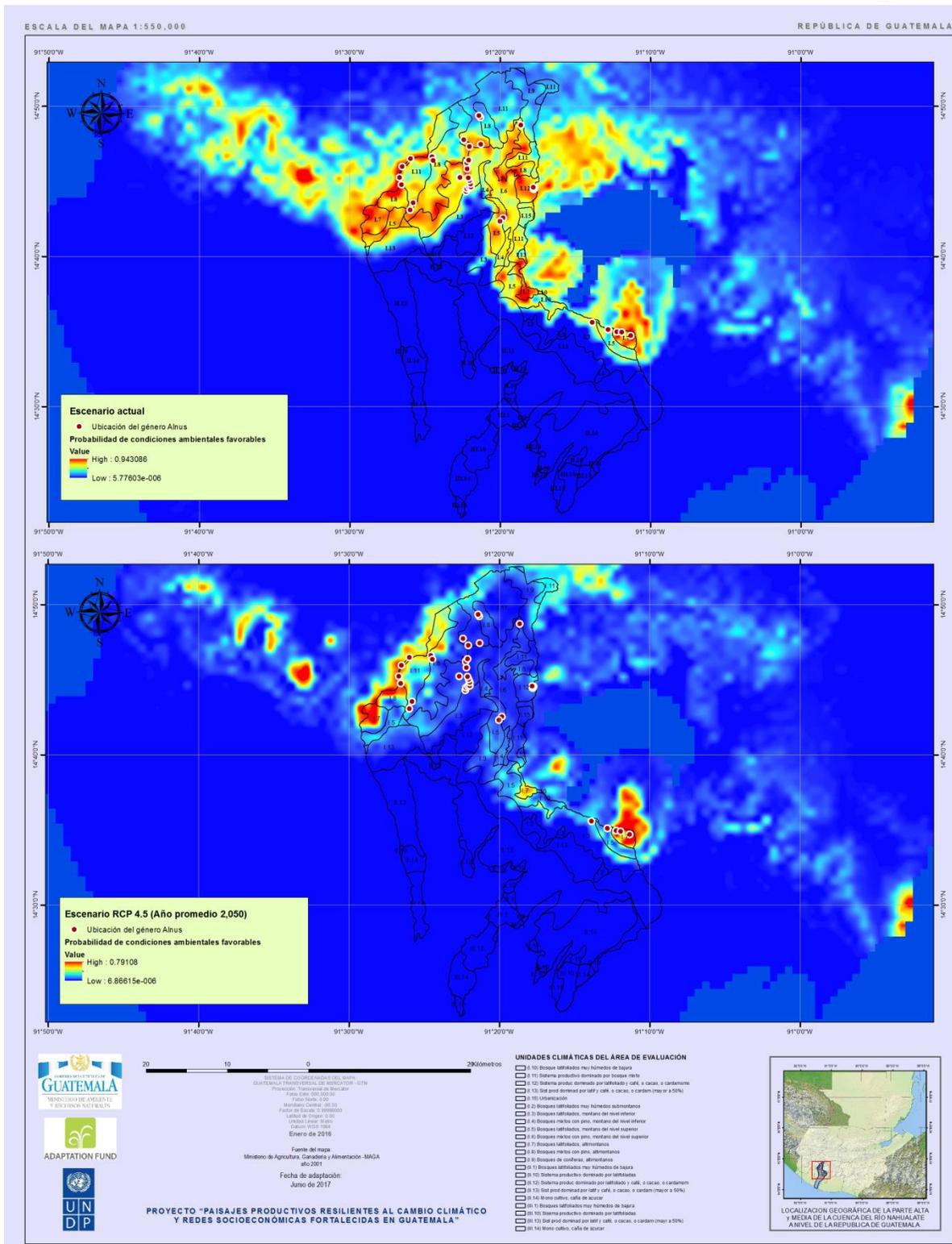


Figura 55L: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP.4.5) para género *Alnus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

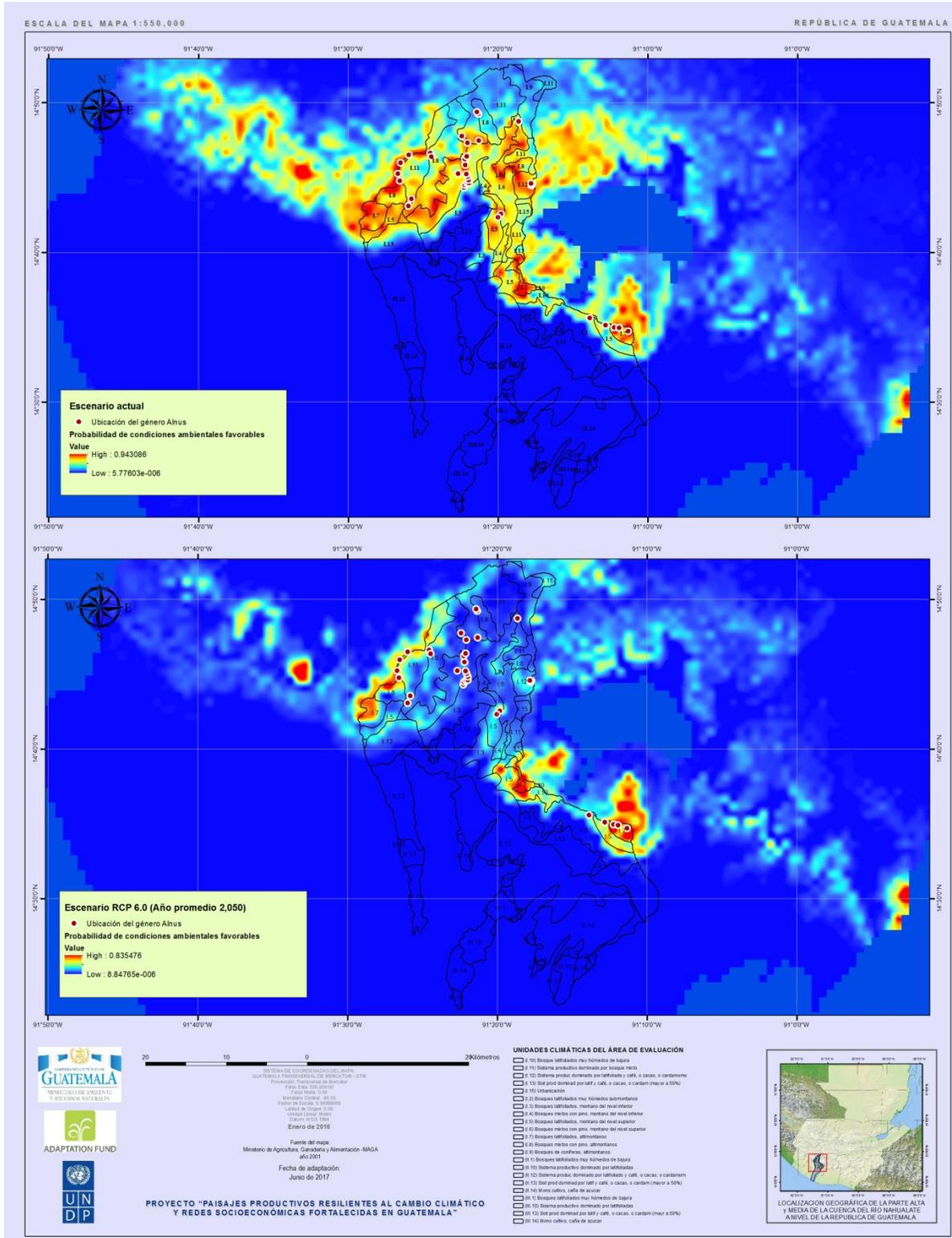


Figura 56M: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP6.0) para género *Alnus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualte (Fuente: elaboración propia).

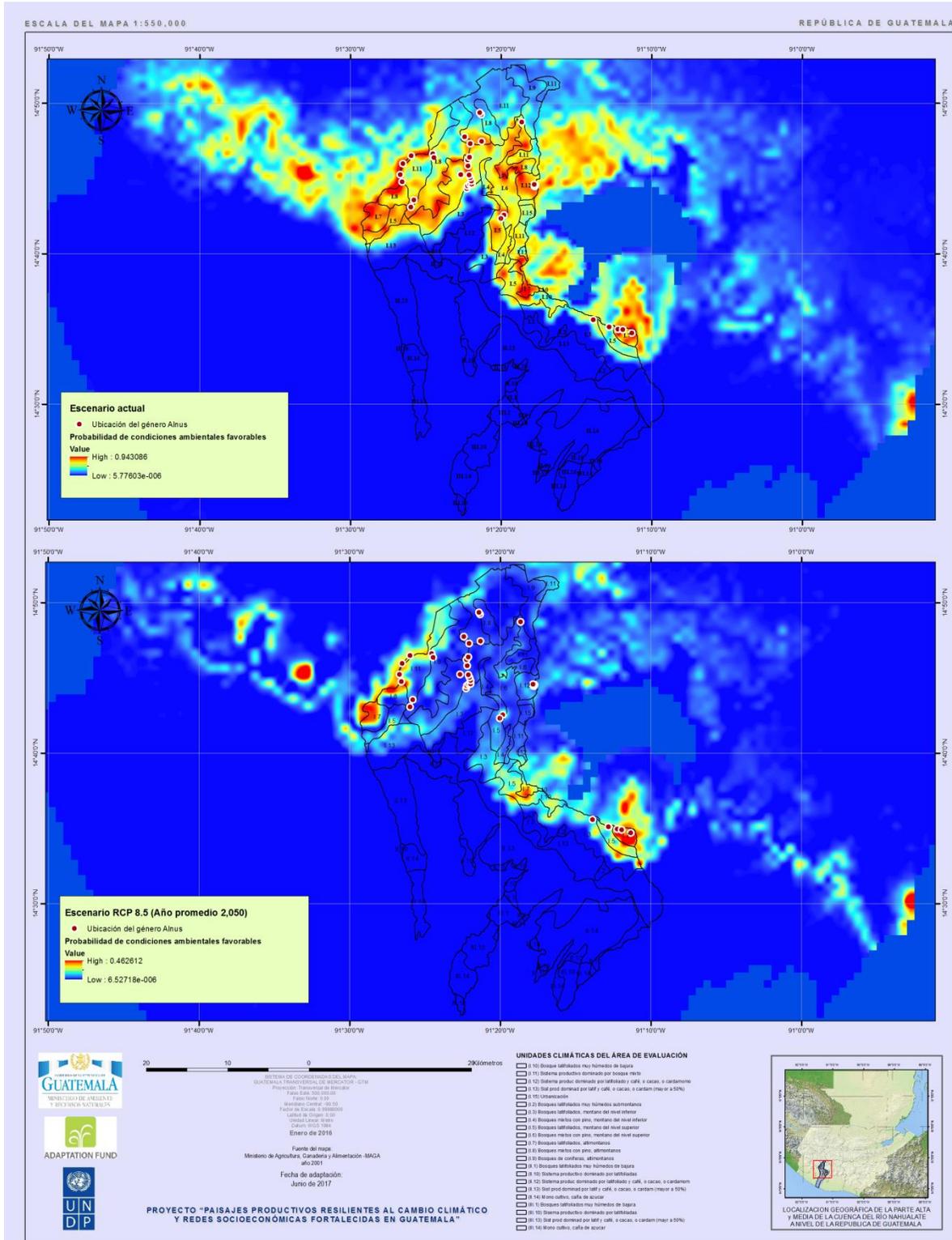


Figura 57N: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP8.5) para género *Alnus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

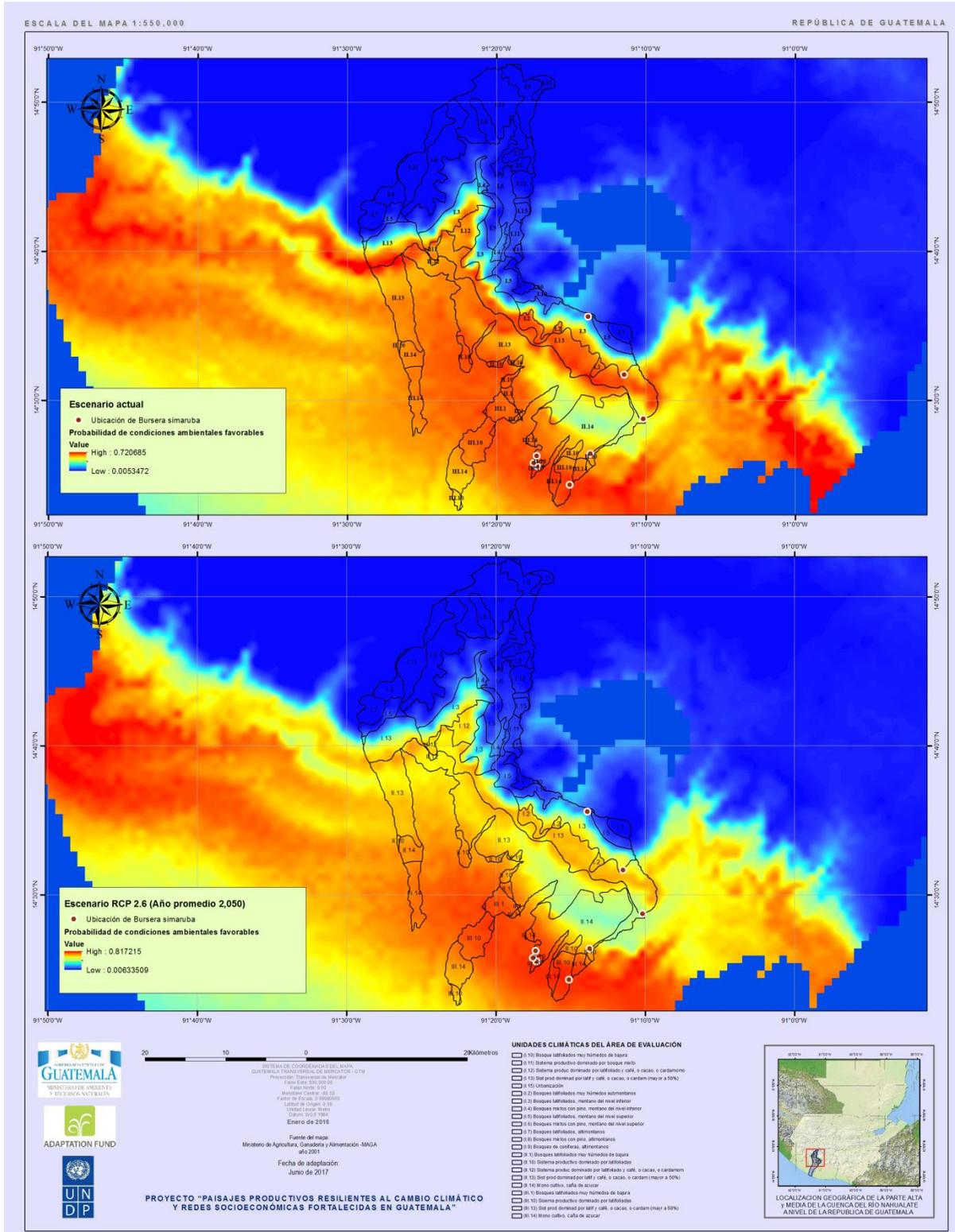


Figura 58Ñ: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP2.6) para *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

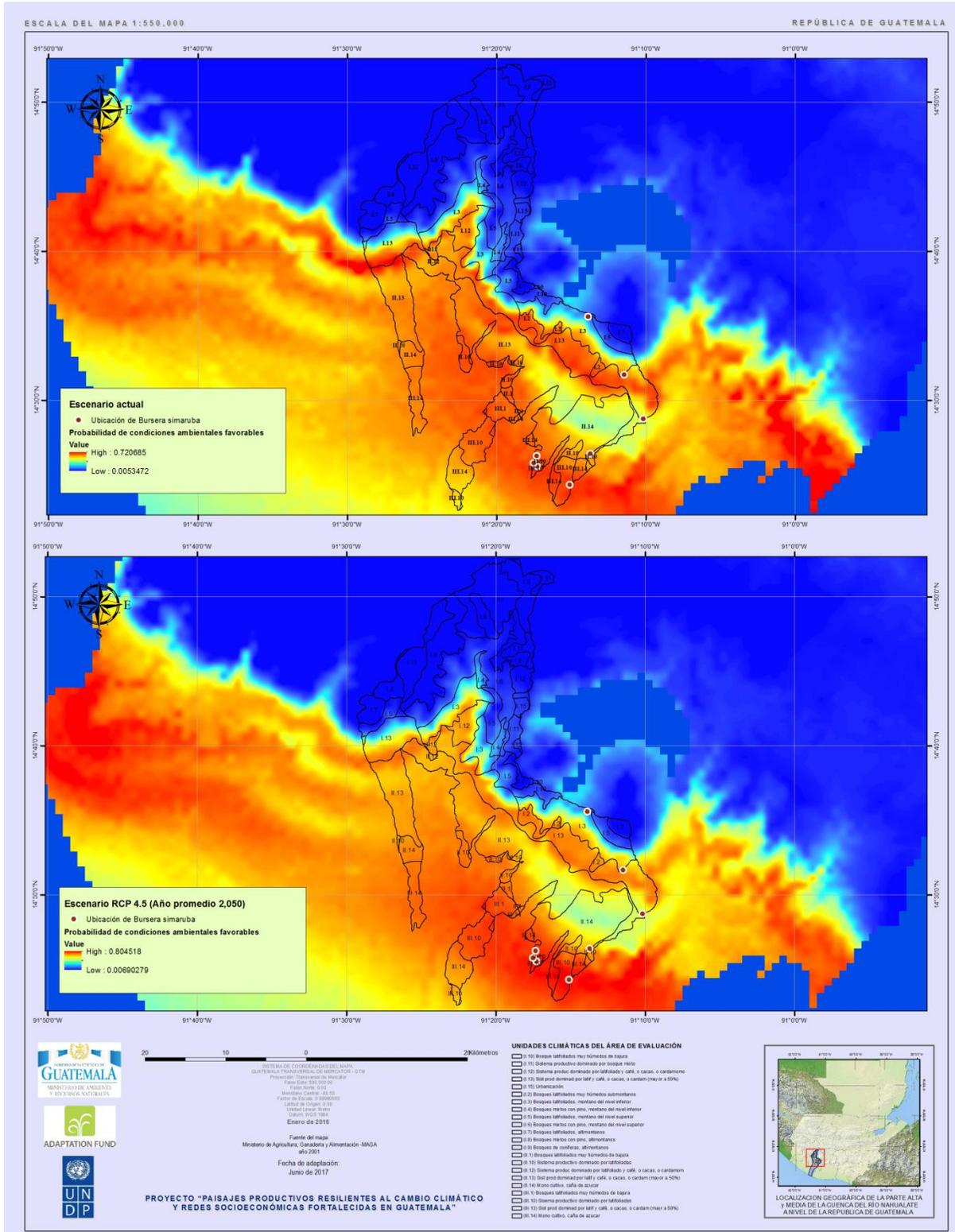


Figura 590: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP4.5) para *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

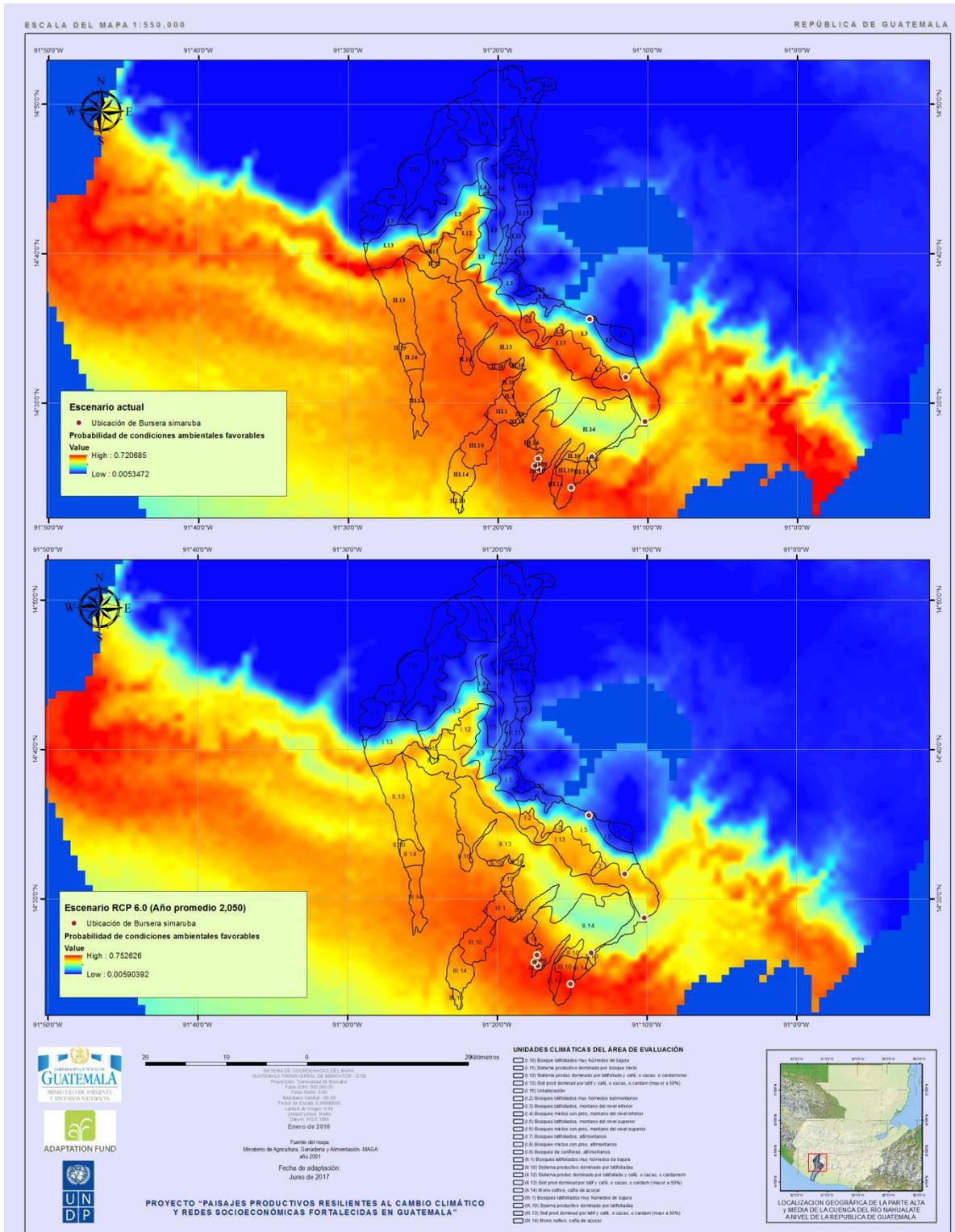


Figura 60P: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP6.0) para *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

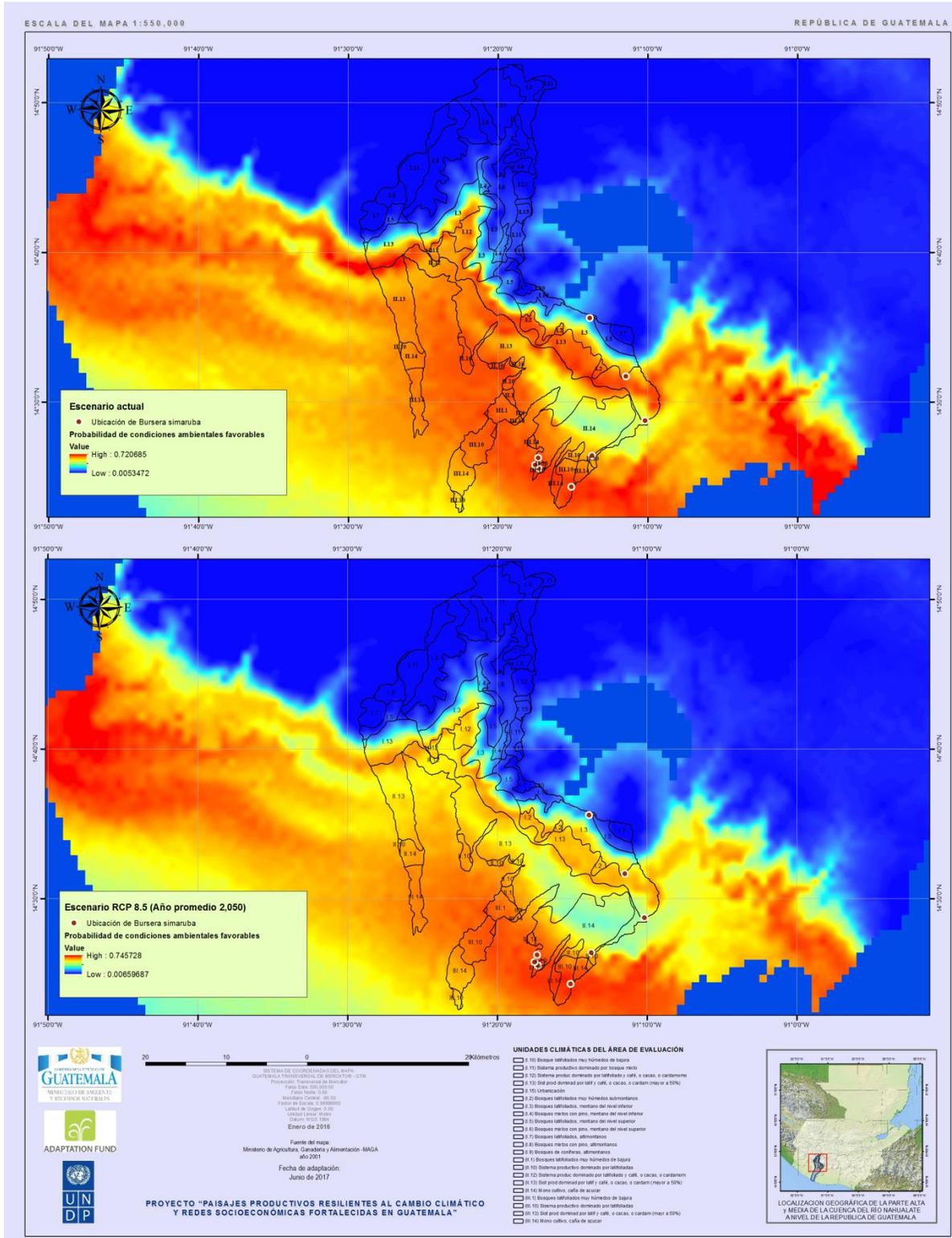


Figura 61Q: Mapa de comparación del escenario presente y futuro (RCP8.5) para *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate (Fuente: elaboración propia).

Cuadro 27D: Cuadro de estimación de contribuciones de factores ambientales para género *Quercus*, y *Pinus*, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

To Quercus			To Pinus		
Variable	Percent contribution	Permutation importance	Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio_14	29.6	5.1	bio_6	44.6	53.7
bio_16	16.3	20	bio_13	30.7	28.4
bio_10	13.6	0	bio_3	8.6	2.2
bio_2	10.5	6.9	bio_7	2.9	1.8
bio_13	9.2	16	bio_10	2.4	0
bio_19	6	6.6	bio_2	2.2	0.8
bio_4	5.5	3.1	bio_14	2.2	1.5
bio_18	5.4	34.9	bio_5	2.1	0
bio_15	1.4	1.2	bio_18	1	4.4
bio_3	1.1	0.1	bio_16	1	1.8
bio_7	0.8	0	bio_15	0.7	0.5
bio_11	0.3	2.5	bio_19	0.7	4.8
bio_5	0.1	3.6	bio_8	0.5	0
bio_9	0	0	bio_12	0.2	0
bio_8	0	0	bio_11	0.1	0
bio_6	0	0	bio_9	0	0
bio_17	0	0	bio_4	0	0
bio_12	0	0	bio_17	0	0
bio_1	0	0	bio_1	0	0

Cuadro 28E: Cuadro de estimación de contribuciones de factores ambientales para género *Alnus* y *Bursera simaruba* (L) Sarg. Gard. & For., parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate

To Alnus			To Bursera simaruba (L.) Sarg. Gard. & For.		
Variable	Percent contribution	Permutation importance	Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio_6	44.7	56.5	bio_12	50.2	0
bio_13	25.4	28.4	bio_6	27.7	34.3
bio_3	16.7	8.6	bio_9	7.1	0
bio_9	3.1	0	bio_16	4.5	0
bio_2	2.7	3.4	bio_3	4.3	19.7
bio_15	2.3	0	bio_8	2.5	0
bio_8	1.8	0	bio_11	2.1	0
bio_1	1.5	0	bio_13	1.2	35.3
bio_14	0.6	0.4	bio_14	0.2	10.6
bio_19	0.4	0.2	bio_19	0.1	0
bio_16	0.3	0	bio_4	0	0
bio_18	0.3	1.4	bio_7	0	0
bio_4	0.2	1.1	bio_5	0	0
bio_12	0	0	bio_2	0	0
bio_11	0	0	bio_18	0	0
bio_10	0	0	bio_17	0	0
bio_17	0	0	bio_15	0	0
bio_5	0	0	bio_10	0	0
bio_7	0	0	bio_1	0	0

Cuadro 29F: Registro de selección y valoración de género y especies forestal con potencial de indicadores de cambio climático.

N°	Género y/o especie forestal	Rango de distribución (msnm)*	Criterios de valoración						Total (21)	%	Estatus
			1	2	3	4	5	6			
1	<i>Género Ardisia</i>	1873-2716	0	0	0	0	5	0	5	23.8	Nssi
2	<i>Género Citharexylum</i>	1074-2541	0	0	0	0	5	0	5	23.8	Nssi
3	<i>Cornus disciflora</i> DC.	2597-3393	0	0	0	0	5	0	5	23.8	Nssi
4	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dene. & Planch.	257-656	0	0	0	0	5	0	5	23.8	Nssi
5	<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordemoy	2170-2851	0	0	0	0	5	0	5	23.8	Nssi
6	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	216-441	0	0	0	4	5	0	9	42.9	Nssi
7	<i>Género Heliocarpus</i>	670-2249	0	0	0	4	5	0	9	42.9	Nssi
8	<i>Género Oreopanax</i>	1353-3296	0	0	0	4	5	0	9	42.9	Nssi
9	<i>Género Cedrela</i>	257-2257	0	0	3	4	5	0	12	57.1	Nssi
10	<i>Alnus</i>	1968 - 3302	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
11	<i>Arbutus xalapensis</i>	1915 - 2813	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
12	<i>Bursera simarouba</i>	216 - 1715	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
13	<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	915-2373	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
14	<i>Género Clethra</i>	1355-3217	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
15	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	1582-2541	1	0	3	4	5	0	13	61.9	Nssi
16	<i>Género Quercus</i>	1160 - 2831	1	0	3	4	5	6	19	90.5	Mbi
17	<i>Género Pinus</i>	1574 - 3532	1	0	3	4	5	6	19	90.5	Mbi

**Referencias:** 1: taxón con amplia distribución y presente en diferentes ecosistemas, 2: patrones de diversidad aplicables a otros taxa relacionados y no relacionados, 3: historia natural bien conocida, 4: abundantes y de fácil observación y manipulación, 5: taxonomía bien conocida, 6: taxa especializados y sensibles a cambios de hábitat. Estatus: Mbi: muy buen indicador, Nssi: no se sugiere como indicador.

Cuadro 30G: Modelo de la boleta de campo para evaluación vegetal

Formato: Evaluación de biodiversidad Registro (No. Día) \_\_\_\_\_ Página: \_\_\_\_\_

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales  
Proyecto: Paisajes productivos resilientes al cambio climático y redes socioeconómicas fortalecidas en Guatemala  
ADAPTATION FUND

Informante: \_\_\_\_\_ Paraje: \_\_\_\_\_ Unidad Bioclimática: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Departamento: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_  
Comunidad: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_

**Referencias:**  
 He: Instituto de Ecología: se árbol, ar o arbolito, h o hierba, l o liana, espigita,  
 X o a longitud (Esp. y o a latitud Norte, Z o a latitud sur) (Cuadrante L, M, OAR o objetivo (en) a 1.50 m (altura a árbol))  
 GP o No. de punto y/o código establecido por el receptor GPS

Nº	Nombre científico	Hc	Nombre local autoctono	GP		Municipio:		Unidad Bioclimática:		Departamento:		Usos
				Cu	Dap	Fan	Cu	Dap	Fan	Cu	Dap	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												

Observaciones y/o comentarios: \_\_\_\_\_

Cuadro 31H: Diversidad general de especies y hábito de crecimiento, parte alta y media de la cuenca del Río Nahualate.

FAMILIA	ESPECIE	Individuos por Hábito de crecimiento				
		arbol	arbusto	hierbas	epifitas	lianas
Acanthaceae	Justicia sp.	0	0	1	0	0
	Justicia spicigera Schlecht.	0	1	0	0	0
Actinidaceae	Saurauia latipetala Hemsl.	11	10	0	0	0
	Saurauia sp1	1	0	0	0	0
	Saurauia subalpina Bonn.	14	0	0	0	0
Adiantaceae	Adiantum sp.	0	0	7	0	0
Agavaceae	Agave sp.	0	1	0	0	0
Alstroemeliaceae	Bomarea acutifolia (Link & Otto) Herb.	0	0	0	0	15
	Bomarea hirtella (HBK.) Herb.	0	0	0	0	2
Amaranthaceae	Iresine celosia L.	0	0	11	0	0
	Iresine sp1	0	0	2	0	0
Amarilidaceae	Furcraea quicheensis Trelease	0	4	0	0	0
Anacardiaceae	Mangifera indica L.	2	0	0	0	0
	Spondias purpurea L.	2	0	0	0	0
Annonaceae	Annona purpurea Mocifio & Sess ex Dunal	2	0	0	0	0
Apiaceae	Arracacia atropurpurea (Lehm.) Benth. & Hook. ex Hemsl.	0	0	2	0	0
	Arracacia sp.	0	0	8	0	0
	Eryngium cymosum Delar.	0	0	7	0	0
	Hydrocotyle umbellata L.	0	0	5	0	0
	Rhodosciadium glaucum Coult. & Rose	0	2	0	0	0
	Sanicula liberta Cham. & Schlecht.	0	0	2	0	0
Apocynaceae	Aspidosperma megalocarpon Muell.	5	0	0	0	0
	Tabernaemontana chryosarr Blake.	4	0	0	0	0
Araceae	Anthurium fraternum Schott,	0	0	0	3	0
	Anthurium montanum Hemsl.	0	0	0	4	0
	Monstera Friedrichsthali Schott,	0	0	0	7	0
	Monstera pertusa (L.) de Vriese	0	0	0	0	4
	Monstera sp.	0	1	0	3	4
	Xanthosoma mexicanum Liebm.	0	0	2	0	0
	Xanthosoma violaceum Schott	0	0	1	0	0
Araliaceae	Dendropanax arboreus (L.) Dene. & Planch.	5	0	0	0	0
	Oreopanax langlassei Standl.	6	5	0	0	0
	Oreopanax peltatus Linden ex Regel,	1	15	0	0	0
	Oreopanax xalapensis (HBK.) Dene. & Planch.	28	0	0	0	0
Arecaceae	Acrocomia mexicana Karwinsky ex. Mart.	3	0	0	0	0
	Chamaedorea aguilariana Standl. & Steyerem.	0	2	0	0	0
	Chamaedorea elegans Martius,	0	2	0	0	0
	Chamaedorea sp1	0	1	0	0	0
	Cocos nucifera L.	5	0	0	0	0
	Orbignya cohune (Mart.) Dahlgren ex Standl.	3	0	0	0	0
Asclepiadaceae	Asclepias curassavica L.	0	0	2	0	0
	Cynanchum schlechtendalii (Dene.) Standl. & Steyerem.	0	0	0	0	2
	Gonolobus sp.	0	0	0	0	1
Asteraceae	Ageratum sp1	0	0	1	0	0
	Ageratum sp2	0	1	0	0	0
	Archibaccharis flexilis Blake	0	3	0	0	0
	Baccharis vaccinioides HBK.	0	9	0	0	0
	Bidens chiapensis Brandg.	0	0	9	0	0

	<i>Bidens ostruthioides</i> (DC.) Sch.-Bip.	0	0	9	0	0
	<i>Bidens squarrosa</i> HBK.	0	0	0	0	4
	<i>Cirsium</i> sp.	0	2	1	0	0
	<i>Cirsium subcoriaceum</i> (Less.) Sch.	0	1	1	0	0
	<i>Coreopsis mutica</i> var. <i>microcephala</i> Crawford	0	1	0	0	0
	<i>Dahlia australis</i> (Scherff.) Sorens.	0	3	0	0	0
	<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	0	0	1	0	0
	<i>Dahlia imperialis</i> Roehl. ex Ortgies in Regel	0	32	0	0	0
	<i>Eupatorium luxii</i> Rob.	0	2	0	0	0
	<i>Eupatorium morifolium</i> Mill.	1	1	0	0	0
	<i>Eupatorium semialatum</i> Benth.	0	6	4	0	0
	<i>Eupatorium</i> sp.	0	3	0	0	0
	<i>Galinsoga urticaefolia</i> (HBK.) Benth.	0	0	1	0	0
	<i>Gnaphalium</i> sp.	0	0	8	0	0
	<i>Heliopsis buphthalmoides</i> (Jacq.) Dunal	0	0	2	0	0
	<i>Hieracium</i> sp.	0	0	2	0	0
	<i>Liabum discolor</i> (Hook. & Arn.) Benth. & Hook, ex Hemsl.	0	2	0	2	0
	<i>Montanoa guatemalensis</i> Robins. & Greenm.	0	2	0	0	0
	<i>Montanoa pteropoda</i> Blake	0	11	0	0	0
	<i>Montanoa</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.	0	0	2	0	0
	<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	7	9	0	0	0
	<i>Perymenium ghiesbreghtii</i> Robins. & Greenm.	0	2	0	0	0
	<i>Pseudogynoxys</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Sabazia sarmentosa</i> Less.	0	0	3	0	0
	<i>Senecio chenopodioides</i> HBK.	0	0	0	0	2
	<i>Senecio cobanensis</i> (Coulter) Grenm.	0	18	0	0	0
	<i>Senecio doratophyllus</i> Benth.	0	2	3	0	0
	<i>Senecio gilgii</i> Greenm.	0	17	3	0	0
	<i>Senecio heterogamus</i> (Benth.) Hemsley	0	3	0	0	0
	<i>Senecio petasioides</i> Greenm. in Donn.-Sm.	0	19	0	0	0
	<i>Senecio salignus</i> DC.	0	1	0	0	0
	<i>Sigesbeckia jorullensis</i> HBK.	0	0	1	0	0
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0	0	1	0	0
	<i>Stevia hirsuta</i> var. <i>hirsuta</i> DC.	0	0	1	0	0
	<i>Stevia ovata</i> Willd.	0	0	7	0	0
	<i>Tagetes foetidissima</i> DC.	0	0	1	0	0
	<i>Tagetes tenuifolia</i> Cav.	0	0	2	0	0
	<i>Tithonia</i> sp.	0	9	0	0	0
	<i>Verbesina apleura</i> Blake	6	29	0	0	0
	<i>Verbesina chiapensis</i> Robins. & Greenm.	0	1	0	0	0
	<i>Verbesina scabriuscula</i> Blake	0	6	0	0	0
	<i>Verbesina sublobata</i> Benth.	0	4	0	0	0
	<i>Vernonia patens</i> HBK.	0	2	0	0	0
	<i>Vernonia shannonii</i> Coulter	2	1	0	0	0
	<i>Vernonia</i> sp.	5	0	0	0	0
Begoniaceae	<i>Begonia gracilis</i> HBK	0	0	1	0	0
	<i>Begonia oaxacana</i> A. DC.	0	2	0	0	0
	<i>Begonia</i> sp.	0	0	6	0	0
	<i>Begonia stigmosa</i>	0	1	0	0	0
Berberidaceae	<i>Mahonia volcania</i> Standl. & Steyererm	1	0	0	0	0
Betulaceae	<i>Alnus ferruginea</i> HBK.	6	0	0	0	0
	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	6	0	0	0	0

	<i>Alnus jorullensis</i> HBK:	29	0	0	0	0
	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Winkl.) Macbride	37	0	0	0	0
Bignoniaceae	<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda,	9	0	0	0	0
	<i>Spathodea campanulata</i> Beauv.	1	0	0	0	0
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	12	0	0	0	0
Blechnaceae	<i>Blechnum</i> sp.	0	0	7	0	0
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaert	4	0	0	0	0
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (R. & P.) Oken	7	0	0	0	0
	<i>Hackelia mexicana</i> (Schlecht. & Cham.) I.M. Johnston	0	0	5	0	0
	<i>Tournefortia petiolaris</i> DC.	3	14	0	0	0
Bromeliaceae	ND1	0	0	1	0	0
	<i>Tillandsia flabellata</i> Baker	0	0	0	2	0
	<i>Tillandsia guatemalensis</i> L. B. Smith	0	0	0	23	0
	<i>Tillandsia lampropoda</i> L. B. Smith in Yuncker	0	0	0	2	0
	<i>Tillandsia ponderosa</i> L.B. Smith	0	0	0	1	0
	<i>Tillandsia usneoides</i> L.	0	0	0	7	0
	<i>Vriesia Werckleana</i> Mez.	0	0	0	9	0
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. Gard. & For.	8	0	0	0	0
Cactaceae	<i>Disocactus speciosus</i> (Cav.) Barthlott	0	0	0	3	0
	<i>Epiphyllum Eichlamii</i> (Weingart) L.	0	0	0	2	0
	<i>Epiphyllum</i> sp.	0	0	0	1	0
Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora</i> HBK.	0	11	7	0	0
	<i>Lobelia</i> sp.	0	0	7	0	0
Cannaceae	<i>Canna</i> sp.	0	1	0	0	0
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpus microphyllus</i> HBK.	0	4	0	0	0
	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth.	0	5	0	0	0
	<i>Viburnum</i> sp1	5	8	0	0	0
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordemoy	4	0	0	0	0
Clethraceae	<i>Clethra licanoides</i> Standl. & Steyerl.	0	1	0	0	0
	<i>Clethra mexicana</i> A. DC.	21	0	0	0	0
	<i>Clethra pachecoana</i> Standl. & Steyerl.	8	0	0	0	0
Clusiaceae	<i>Clusia Salvini</i> Donn.-Sm.	6	1	0	0	0
	<i>Hypericum uliginosum</i> HBK.	0	0	2	0	0
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> Wild.	2	0	0	0	0
Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (R. & P.) Steud.	9	0	0	0	0
Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i> Willd.	0	0	1	0	0
	<i>Commelina</i> sp.	0	0	2	0	0
	<i>Tradescantia commelinoides</i> Roem. & Schult.	0	0	2	0	0
	<i>Tradescantia</i> sp.	0	0	2	0	0
Convalariaceae	<i>Maianthemum</i> sp.	0	0	2	1	0
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	0	0	0	0	4
	<i>Ipomoea tyrianthina</i> Lindl.	0	0	0	0	4
Coriariaceae	<i>Coriaria thymifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	0	16	0	0	0
Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i> DC.	4	0	0	0	0
Crassulaceae	<i>Echeveria Maxonii</i> Rose	0	0	0	2	0
	<i>Echeverria styermarkii</i> Standl.	0	0	0	2	0
Cucurbitaceae	<i>Cyclanthera integrifoliola</i> Cogn.	0	0	0	0	2
	<i>Microsechium helleri</i> (Peyr.) Cogn. in DC.	0	0	0	0	3
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Miller	7	0	0	0	0
Cuscutaceae	<i>Cuscuta jalapensis</i> Schlecht.	0	0	0	4	0
Cyatheaceae	<i>Alsophylla</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Cyathea</i> sp.	2	0	0	0	0
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	0	0	1	0	0

	<i>Rhynchospora tuerckheimii</i> C. B. Clarke	0	0	2	0	0
Equisetaceae	<i>Equisetum</i> sp.	0	0	1	0	0
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	13	2	0	0	0
	<i>Arctostaphylos arbutoides</i> (Lindl.) Hemsl.	0	8	0	0	0
	<i>Gaultheria odorata</i> Willd.	0	7	0	0	0
	<i>Pernettya ciliata</i> (Schlecht. & Cham.) Small,	0	4	0	0	0
	<i>Vaccinium</i> sp.	0	2	0	0	0
Euphorbiaceae	<i>Acalypha guatemalensis</i> Pax & Hoffm.	0	0	1	0	0
	<i>Acalypha trachyloba</i> Muell.	0	1	3	0	0
	<i>Jatropha Curcas</i> L.	8	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze	0	13	0	0	0
	<i>Acacia hindsii</i> Benth.	1	2	0	0	0
	<i>Acacia</i> sp.	4	0	0	0	0
	<i>Caesalpinia</i> sp.	1	0	0	0	0
	<i>Calliandra grandiflora</i> (L'Hér.) Benth. in Hook.	0	14	0	0	0
	<i>Calliandra</i> sp.	0	2	0	0	0
	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn.	0	0	1	0	0
	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	4	0	0	0	0
	<i>Desmodium</i> sp.	0	0	1	0	0
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	3	0	0	0	0
	<i>Erythrina Berteroana</i> Urban	8	0	0	0	0
	<i>Erythrina</i> sp.	1	0	0	0	0
	<i>Eysenhardtia adenostilis</i> Baill.	4	0	0	0	0
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.	4	0	0	0	0
	<i>Inga</i> sp.	2	0	0	0	0
	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	2	0	0	0	0
	<i>Lupinus montanus</i> HBK.	0	3	0	0	0
	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	0	1	0	0	0
	<i>Mucuna argyrophylla</i> Standl.	0	0	0	0	9
	<i>Phaseolus coccineus</i> L.	0	0	0	0	4
	<i>Phaseolus speciosus</i> HBK.	0	0	0	0	1
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S. F. Blake	3	0	0	0	0
	<i>Trifolium amabile</i> HBK.	0	0	1	0	0
Fagaceae	<i>Quercus acatenangensis</i> Trelease	20	0	0	0	0
	<i>Quercus benthami</i> A. DC. in DC.	1	0	0	0	0
	<i>Quercus brachystachys</i> Benth.	2	0	0	0	0
	<i>Quercus peduncularis</i> Née.	19	0	0	0	0
	<i>Quercus skinneri</i> Benth.	6	0	0	0	0
	<i>Quercus tristis</i> Liebm.	7	0	0	0	0
Flacourtiaceae	<i>Xylosma flexuosum</i> (HBK) Hemsl.	0	4	0	0	0
Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i> Hartweg ex Benth.	14	11	0	0	0
Gentianaceae	<i>Halenia brevicornis</i> (HBK.) G. Don	0	0	2	0	0
Geraniaceae	<i>Geranium guatemalense</i> Knuth	0	0	3	0	0
Gesneriaceae	<i>Hemichaena fruticosa</i>	0	0	1	0	0
	<i>Kohleria deppeana</i> (Schlecht. & Cham.) Fritsch. In Egler & Prantl.	0	0	3	0	0
Haloragaceae	<i>Gunnera Killipiana</i> Lundell	0	5	0	0	0
Hippocastanaceae	<i>Billia hippocastanum</i> Peyr.	2	0	0	0	0
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i> (R. & P.) HBK.	0	10	0	0	0
Iridaceae	<i>Orthosantus chimboracensis</i> var <i>centroamericanus</i> Steyermark	0	0	5	0	0
	<i>Tigridia Pavonia</i> (L. f.) Ker in König & Sims.	0	0	3	0	0
Lamiaceae	<i>Cunila</i> sp.	0	1	0	0	4
	<i>Hyptis urticoides</i> L.	0	0	2	0	0

	<i>Salvia cinnabarina</i> Mart. & Gal.	0	0	21	0	0
	<i>Salvia lavanduloides</i> HBK	0	0	4	0	0
	<i>Salvia nana</i> HBK	0	0	1	0	0
	<i>Salvia polystachya</i> Ortega	0	5	2	0	0
	<i>Salvia purpurea</i>	0	1	1	0	0
	<i>Satureja seleriana</i> Loesener	0	0	3	0	0
	<i>Scutellaria guatemalensis</i> Leonard	0	0	1	0	0
Lamoropsidaceae	<i>Elaphoglossum</i> sp.	0	0	1	0	0
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i>	10	0	0	0	0
	<i>Nectandra</i> sp.	1	0	0	0	0
	<i>Ocotea chiapensis</i> (Lundell) Standl & Steyerf.	4	3	0	0	0
	<i>Persea americana</i> Mill.	1	0	0	0	0
	<i>Persea</i> sp.	1	0	0	0	0
Liliaceae	<i>Echeandia macrocarpa</i> Greenm.	0	0	1	0	0
	ND3	0	1	0	0	0
	<i>Smilacina flexuosa</i> Bertol	0	0	20	3	0
	<i>Smilacina</i> sp.	0	0	1	0	0
Loganiaceae	<i>Buddleia megaloccephala</i> Donn.-Sm.	2	0	0	0	0
	<i>Buddleia nitida</i> Benth. & DC.	0	7	0	0	0
	<i>Buddleia skutchii</i> Morton	2	0	0	0	0
Lythraceae	<i>Cuphea sanguinea</i> Koehne	0	0	2	0	0
Malpighiaceae	<i>Bunchosia gracilis</i> Niedenzu	0	3	0	0	0
	<i>Byrsonima crasifolia</i> (L) HBK	2	0	0	0	0
	<i>Gaudichaudia albida</i> Cham. & Schlecht.	0	0	0	0	7
Malvaceae	<i>Malva viscus arboreus</i> Cav.	0	9	0	0	0
	<i>Neobrittonia</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Sida</i> sp.	0	0	5	0	0
Maranthaceae	<i>Caltha lutea</i> (Aubl.) G.F.W. Meyer	0	1	0	0	0
Melastomataceae	<i>Centradenia</i> sp.	0	7	0	0	0
	<i>Clidemia</i> sp	0	2	0	0	0
	<i>Conostegia</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don	0	5	0	0	0
	<i>Leandra melanodesma</i> (Naudin) Cogn. in Mart.	0	8	0	0	0
	<i>Miconia</i> sp.	3	0	0	0	0
	<i>Monochaetum tenellum</i> Naudin	0	4	0	0	0
	ND4	0	4	0	0	0
	<i>Tibouchinia</i> sp	0	0	1	0	0
Meliaceae	<i>Cedrela mexicana</i> M. Roem.	5	0	0	0	0
	<i>Cedrella pacayana</i> Harms.	6	0	0	0	0
	<i>Swietenia humilis</i> Zuccarini	1	0	0	0	0
Moraceae	<i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.	3	0	0	0	0
	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertoloni	13	0	0	0	0
	<i>Cecropia peltata</i> L.	0	1	0	0	0
	<i>Ficus glabrata</i> HBK.	4	0	0	0	0
	<i>Ficus</i> sp.	2	0	0	0	0
	<i>Heliconia</i> sp.	0	2	0	0	0
	<i>Heliconia</i> sp1	0	2	0	0	0
	<i>Musa sapientum</i> L.	0	4	0	0	0
	ND5	0	4	0	0	0
Myrsinaceae	<i>Ardisia compressa</i> H.B.K.	7	0	0	0	0
	<i>Ardisia sexpartita</i> Lundell	4	1	0	0	0
	<i>Parathesis tartarea</i> Lundell	1	0	0	0	0
	<i>Rapanea Juergensenii</i> Mez	2	2	0	0	0

	<i>Rapanea myricoides</i> (Slecht.) Lundell	19	0	0	0	0
	<i>Sinardisia</i> sp.	5	0	0	0	0
Myrtaceae	<i>Psidium</i> sp.	2	0	0	0	0
Olacaceae	<i>Schoepfia</i> sp.	2	12	0	0	0
Onagraceae	<i>Fuchsia arborescens</i> Sims.	7	16	0	0	0
	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK.	0	28	0	0	0
	<i>Fuchsia splendens</i> Zucc.	0	2	0	4	0
	<i>Hauya</i> sp1	0	5	0	0	0
	<i>Hauya</i> sp2	0	22	0	0	0
	<i>Lopezia hirsuta</i> Jacq.	0	0	14	0	0
	<i>Oenotera</i> sp.	0	0	1	0	0
	<i>Oenothera multicaulis</i> Ruiz & Pavón	0	0	1	0	0
Orchidaceae	<i>Arpophyllum spicatum</i> La Llave & Lex.	0	0	1	0	0
	<i>Calanthe</i> sp.	0	0	4	0	0
	<i>Epidendrum arbuscula</i> Lindl. in Benth.	0	0	0	2	0
	<i>Epidendrum Lindleyanum</i> (Batem.) (Barkeria spectabilis)	0	0	0	1	0
	<i>Isochilus aurantiacus</i>	0	0	0	3	0
	<i>Maxilaria</i> sp.	0	0	0	1	0
	<i>Odontoglossum bictoniense</i> (Batem.) Lindl.	0	0	2	4	0
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i> L.	0	8	0	0	0
	<i>Bocconia vulcanica</i> Bonn. Smith	0	4	0	0	0
Passifloraceae	<i>Passiflora membranacea</i> Benth.	0	0	0	0	17
	<i>Passiflora</i> sp1	0	0	0	0	2
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i> L.	0	4	0	0	0
	<i>Phytolacca rugosa</i> Braun & Douche <sup>8</sup> ,	0	1	0	0	0
Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	3	0	0	0	0
	<i>Pinus Ayacahuite</i> Ehrenberg	1	0	0	0	0
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	32	0	0	0	0
	<i>Pinus rudis</i>	5	0	0	0	0
	<i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz & Perry	9	0	0	0	0
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp.	0	0	1	0	0
	<i>Piper martensianum</i> C. DC. in DC.	0	3	0	0	0
	<i>Piper</i> sp	0	3	0	0	0
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	0	0	8	0	0
Poaceae	<i>Chusquea longifolia</i> Swallen	7	4	0	0	0
	<i>Chusquea</i> sp.	0	7	0	0	0
	<i>Eragrostis</i> sp.	0	0	3	0	0
	<i>Guadua aculeata</i> Rupr. ex Fourn.	4	0	0	0	0
	<i>Melinis minutiflora</i>	0	0	1	0	0
	<i>Muhlenbergia aurea</i> Swallen	0	0	2	0	0
	<i>Phragmites communis</i> Trin.	0	1	0	0	0
Podocarpaceae	<i>Podocarpus</i> sp.	0	1	0	0	0
Polemoniaceae	<i>Cobaea</i> sp.	0	0	0	0	2
Polygalaceae	<i>Monnina xalapensis</i> HBK.	0	19	0	0	0
Polygonaceae	<i>Coccoloba</i> sp.	1	0	0	0	0
	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	0	2	0	0	2
	<i>Rumex acetocella</i> L.	0	0	2	0	0
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn.	1	0	0	0	0
Pteridaceae	<i>Pteridium caudatum</i> (L.) Maxon	0	1	4	0	0
Pyrolaceae	<i>Chimaphila</i> sp.	0	0	4	0	0
Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.	0	0	0	0	14
Rhamnaceae	<i>Ceanothus coeruleus</i> Lagasca	0	10	0	0	0
	<i>Rhamnus discolor</i> Donn. Smith	34	0	0	0	0

Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L.	0	5	0	0	0
	<i>Alchemilla pectinata</i> HBK.	0	0	5	0	0
	<i>Alchemilla vulcanica</i> Schlecht. & Cham.	0	0	1	0	0
	<i>Holodiscus argenteus</i>	0	5	0	0	0
	<i>Photinia</i> sp.	4	0	0	0	0
	<i>Potentilla heterocephalla</i> Fritsch.	2	0	0	0	0
	<i>Prunus salasii</i> Standl.	3	0	0	0	0
	<i>Prunus</i> sp.	17	0	0	0	0
	<i>Prunus</i> sp1	4	0	0	0	0
	<i>Prunus</i> sp2	5	0	0	0	0
	<i>Rubus</i> sp.	0	12	0	0	0
	<i>Rubus glaucus</i> Benth.	0	4	0	0	0
	<i>Rubus trilobus</i> Seringe in DC.	0	7	0	0	0
Rubiaceae	<i>Chiococca phaenostemon</i> Schlecht.	0	3	0	0	0
	<i>Crusea coccinea</i> DC.	0	0	7	0	0
	<i>Crusea</i> sp.	0	0	1	0	0
	<i>Didymaea hispidula</i> L.	0	0	0	0	2
	<i>Exostema mexicanum</i> Gray	0	1	0	0	0
	<i>Galium</i> sp.	0	0	0	0	5
	<i>Gonzalagunia chiapasensis</i> (Standl.) Standl. & Steyerm.	1	0	0	0	0
	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	0	4	1	0	0
	<i>Hamelia</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Hoffmania</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Houstonia serpillaceae</i> (Schlecht.) C.L. Smith ex Grenm.	0	0	2	0	0
	<i>Manettia reclinata</i> L.	0	0	0	0	1
	<i>Nertera granadensis</i> (L. f.) Druce	0	0	0	0	9
	<i>Rondeletia cordata</i> Benth.	4	3	0	0	0
<i>Rondeletia strigosa</i> (Benth.) Hemsl.	0	10	5	0	0	
Rutaceae	<i>Zanthoxylum harmsianun</i> (Loes.) P. Wilson	0	6	0	0	0
Salicaceae	<i>Salix chilensis</i> Molina	1	2	0	0	0
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	3	0	0	0	0
	<i>Pouteria mammosa</i> (L.) Cronquist	2	0	0	0	0
Saxifragaceae	ND6	0	0	0	0	2
Scrophulariaceae	<i>Calceolaria mexicana</i> Benth.	0	0	1	0	0
	<i>Castilleja integrifolia</i> L.f.	0	0	1	0	0
	<i>Penstemon gentianoides</i> (HBK) Poirlet.	0	0	2	0	0
Smilacaceae	<i>Smilax jalapensis</i> Schlecht.	0	0	0	0	24
	<i>Smilax</i> sp.	0	0	0	0	11
Solanaceae	<i>Brugmancia candida</i> Pers.	3	0	0	0	0
	<i>Cestrum anagyris</i> Dunal in DC.	0	17	0	0	0
	<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L.Gentry	0	0	2	0	0
	<i>Lycianthes chiapensis</i> (Brandege)	0	11	4	0	0
	<i>Lycianthes quichensis</i> (Coult. & Donn.-Sm.) Bitter	0	2	0	0	0
	<i>Solandra grandiflora</i> Swartz	0	0	0	0	1
	<i>Solanum appendiculatum</i> H. & B. ex Dunal	0	0	0	0	15
	<i>Solanum fontium</i> Standl. & Steyerm.	0	6	0	0	0
	<i>Solanum hartwegii</i> Benth.	0	13	0	0	0
	<i>Solanum nigrecens</i> Mart. & Gal.	0	0	1	0	0
	<i>Solanum</i> sp.	0	1	0	0	0
<i>Solanum torvum</i> Swartz	0	1	0	0	0	
Sterculiaceae	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreategui,	17	0	0	0	0
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	5	0	0	0	0
	<i>Theobroma bicolor</i> Humb. & Bonpl.	1	0	0	0	0

Styracaceae	<i>Styrax argenteus</i> Presl.	4	0	0	0	0
Tiliaceae	<i>Heliocarpus Donnell-Smithii</i> Rose in Bonn. Smith,	18	0	0	0	0
	<i>Heliocarpus mexicanus</i> (Turcz.) Sprague	11	0	0	0	0
	<i>Mutingia calabura</i> L.	1	0	0	0	0
	ND7	0	2	0	0	0
	<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	0	1	5	0	0
Ulmaceae	<i>Trema micranta</i> (L.) Blume	25	0	0	0	0
Urticaceae	<i>Myriocarpa longipes</i> Liebm.	1	1	0	0	0
	<i>Phenax hirtus</i> (Swartz) Wedd. in DC.	0	2	2	0	0
	<i>Pilea</i> sp.	0	0	23	0	0
	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	0	18	0	0	0
	<i>Urera</i> sp.	0	1	0	0	0
	<i>Urtica</i> sp.	0	1	0	0	0
Valerianaceae	<i>Valeriana prionophylla</i> L.	0	0	0	0	1
	<i>Valeriana</i> sp.	0	0	0	0	2
Verbenaceae	<i>Citharexylum donnell-smithii</i> Greenm.	8	0	0	0	0
	<i>Citharexylum mocinnii</i> D. Don	10	0	0	0	0
	<i>Citharexylum</i> sp.	0	0	1	0	0
	<i>Lantana camara</i> L.	0	4	0	0	0
	<i>Lantana hispida</i> HBK.	0	1	0	0	0
	<i>Lippia</i> sp.	0	10	0	0	0
	<i>Lippia</i> sp1	6	0	0	0	0
	<i>Lippia substrigosa</i> Turcz.	0	3	0	0	0
Violaceae	<i>Viola Nannei</i> Polak.	0	0	5	0	0
Vitaceae	<i>Cissus cacuminis</i> Standl. in Yuncker	0	0	0	0	1
	<i>Cissus</i> sp.	0	0	0	0	1
Zingiberaceae	<i>Alpinia speciosa</i> (Wendl.) Schum.	0	0	1	0	0



Figura 62: Serie de fotografías de trabajo de campo: 1= forma de colecta de especímenes vegetales, 2= Ing. Sergio Miguel G. prensando muestras, 3 = Paquete de muestras prensadas, 4= Ing. Mardoqueo J. entrevistando a comunitario, 5 = Tomando datos en el campo y 6 = Ing. Sergio Miguel G. con muestra de planta a identificar.

## 9. GLOSARIO

### Clases de desarrollo de especies forestales

**Plántula** individuos con altura  $\leq 30$  cm (Leigue Gómez, 2011).

**Brinzal:** individuos  $> 0.3$  m hasta 1.3 m altura y  $DAP \leq 5$  cm (AFE-COHDEFOR & OIMT, 2003; Leigue Gómez, 2011; Pinelo, 2004).

**Latizal:** individuos  $> 1.3$  m de altura y  $5 \text{ cm} > DAP \leq 10$  cm (AFE-COHDEFOR & OIMT, 2003; Leigue Gómez, 2011; Pinelo, 2004).

**Fustal:** individuo con diámetro normal entre 10.0 a 24.9 cm (AFE-COHDEFOR & OIMT, 2003; Leigue Gómez, 2011; Pinelo, 2004).

### Medidas de diversidad biológica aplicables a la vegetación

**Diversidad alfa:** es la riqueza de especies de una comunidad determinada y que se considera homogénea, es una medida aplicable a nivel local. Para efectos del estudio se aplica a áreas homogéneas dentro de las unidades climático-florísticas que se han definido para la cuenca del Río Nahualate.

**Índice de Shannon-Wiener:** Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para la evaluación de la biodiversidad en Reservas de Biosfera, 2001). Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de  $S$ , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos según Magurran (1988 citado por Halffter, Moreno, & Pineda, 2001). Es el índice más utilizado para determinar la diversidad de especies de plantas en un hábitat (BOLFOR, Mostacedo, & Fredericksen, 2000).

**Diversidad beta:** Es la diversidad que existen entre hábitats (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para la evaluación de la biodiversidad en Reservas de Biosfera, 2001) dentro de una comunidad vegetal o ecosistema. Es la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición florística entre las comunidades o hábitats (Meffe & Carroll, 1997) que se encuentran en un área mayor. Se obtiene a partir de la comparación entre pares de comunidades o hábitats y su medición está basada en proporciones las que se evalúan con base en índices de similitud y disimilitud (Halffter, Moreno, & Pineda, Manual para la evaluación de la biodiversidad en Reservas de Biosfera, 2001). Para efectos del estudio comunidad o hábitat corresponde a sitio de evaluación dentro de la unidad climático-florística.

**Índice de Sørensen:** Relaciona el número de especies en común con la media aritmética de las especies en ambos sitios según Magurran (1988 citado por Halffter, Moreno, & Pineda, 2001), evalúa la similitud/disimilitud basada en datos de presencia/ ausencia. Es el índice más utilizado para el análisis de comunidades y permite comparar dos comunidades mediante la presencia/ ausencia de especies en cada una de ellas; utiliza datos de tipo cualitativo y es el índice más satisfactorio (BOLFOR, Mostacedo, & Fredericksen, 2000). Su valor varía entre 0, cuando los sitios son totalmente diferentes, y 1 cuando los sitios son idénticos. Para efectos del estudio se utilizó para comparar sitios de evaluación de biodiversidad dentro de las unidades climático florísticas de la cuenca del Río Nahualate.

**Dendrograma:** Figura que representa la secuencia de fusiones en un esquema dendrítico, las líneas horizontales representan nodos o grupos intermedios formados por la fusión de los grupos o nodos

inferiores y en las ordenadas se representan los coeficientes de fusión (Mateucci & Colma, 1982). También se conceptúa como un diagrama de divisiones que representa una jerarquía de categorías, basado en general en el grado de similitud o número de características compartidas entre los elementos.

Deriva de la aplicación del método aglomeración de unión promedio propuesto por Sokal y Michener que genera una clasificación jerárquica, partiendo de una matriz Q o directa que se construye con los valores de similitud entre muestras (Mateucci & Colma, 1982).

**Índice de valor de importancia (IVI):** conocido también como Índice de importancia de Cottam (Mateucci & Colma, 1982), es un parámetro que mide el valor de las especies, típicamente, en base a tres parámetros principales: dominancia (ya sea en forma de cobertura o área basal), densidad y frecuencia (BOLFORD, Mostacedo, & Fredericksen, 2000), para efectos del estudio se estimó el valor de IVI, utilizando los datos de densidad y frecuencia colectados en campo. Este índice se utilizó para identificar las especies con mayor valor ecológico dentro de cada comunidad florística diferenciada.

### **Instrumentos de evaluación**

**Jalón:** listón de madera de doso tres metros de longitud, en cuyo extremo se coloca un trozo de tela blanca y roja que facilite la visibilidad. Listón de madera, de forma cilíndrica, de unos 3 cm de diámetro y de 1,5 a 2,5 m de altura, por un extremo terminan en un regatón de hierro para poderlos clavar en el suelo y van pintados en decímetros o dobles decímetros alternativamente en blanco y rojo (Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, sf).

**Factores bioclimático:** El concepto del bioclima lo utiliza **WLADIMIR KÖPPEN**, climatólogo alemán de principios del siglo pasado, en el año 1906, que realiza estudios sobre la adaptación climática de la vegetación, desarrolla la idea de que la vegetación natural es el mejor reflejo del clima y combina las medias anuales de temperaturas y precipitación junto con la estacionalidad de las precipitaciones. Se debe destacar que **KÖPPEN** determina cinco zonas climáticas básicas (tropical-lluviosa, seca, templada, boscosa-fría y polar), posteriormente los **HERMANOS ÖLGYAY** desarrollan un término en asociación con el desarrollo espacial en las edificaciones.

Los factores bioclimáticos son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. Tener un registro durante muchos años de los valores correspondientes a dichos elementos con respecto a un lugar determinado, nos sirve para poder definir cómo es el clima de esa área.

**GIS:** siglas en inglés de *Geographic information system*, sistema de información geográfica. Es un sistema para el almacenamiento, recuperación y despliegue de información detallada referente a las características naturales y artificiales de ciertas áreas de la Tierra.

**Isotermabilidad:** Índice de variabilidad de la temperatura  $(P2/P7) * 100$  (Razón del rango diurno promedio con respecto al rango anual).

**IPCC:** El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido como IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), es una organización internacional, constituida a petición de los gobiernos miembros. Fue establecido por primera vez en 1988 por dos organizaciones de **NACIONES UNIDAS**, la **ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM)** y el **PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA)**, y posteriormente ratificada por la **ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS**. Su misión es proveer con evaluaciones científicas comprensivas

sobre la información científica, técnica y socioeconómica actual sobre el riesgo de **CAMBIO CLIMÁTICO** provocado por la actividad humana, sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar sus efectos.

**Trayectorias de concentración de representativas (RCP):** Para el AR5<sup>[1]</sup> la comunidad científica ha definido un grupo nuevo de escenarios, denominados “trayectorias de concentración representativas” (RCP, por sus siglas en inglés). Estos escenarios se centran en las emisiones antropogénicas y no incluyen cambios en impulsores naturales como el forzamiento solar o volcánico o las emisiones naturales de CH<sub>4</sub> o N<sub>2</sub>O. Los RCP representan el forzamiento radiativo total calculado para el año 2100 respecto al año 1750 (por ejemplo el RCP2,6 significa 2,6 W/m<sup>2</sup>). Se podría decir que el RCP2,6 representa un escenario de mitigación, el RCP4,5 y RCP6,0 son escenarios de estabilización y el RCP8,5 corresponde a un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero.

Trayectorias de concentración de representativas	FR (Forzamiento radiativo)	Tendencia del FR	(CO <sub>2</sub> ) en 2100
RCP2.6	2.6 W/m <sup>2</sup>	Decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4.5 W/m <sup>2</sup>	Estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6.0 W/m <sup>2</sup>	Creciente	670 ppm
RCP8.5	8.5 W/m <sup>2</sup>	Creciente	936 ppm

Fuente: Tomado de la guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC.WGI. “Cambio Climático: Bases Físicas”, 2013.

**El Modelo del Sistema Climático Comunitario, versión 4 (CCSM4)** por sus siglas en inglés *Community Climate System Model, versión 4* es un modelo climático acoplado para simular el sistema climático de la tierra. Está compuesto por cuatro modelos diferentes que simulan simultáneamente la atmósfera, el océano, superficie terrestre y el hielo marino, y un componente central de acoplamiento, el CCSM permite a los investigadores llevar a cabo investigaciones fundamentales sobre los estados climáticos del pasado, presente y futuro.

**World Clim –Global Climate Data:** es una página web que contiene datos sobre el clima mundial de acceso gratuito para el modelado ecológico con Sistemas de Información Geográfica. La dirección en la Web es <http://WWW.worldclim.org/current>.

**MaxEnt:** programa basado en una distribución de Máxima Entropía para la modelización de la distribución geográfica de las especies. El software consiste en un archivo jar, MaxEnt.jar, que puede ser utilizado en cualquier ordenador que tenga instalada una versión Java 1.4 o superior. MaxEnt y la literatura asociada, se pueden descargar de [www.cs.princeton.edu/~schapire/MaxEnt](http://www.cs.princeton.edu/~schapire/MaxEnt). Puede trabajar 1000 aproximaciones, con un poder de procesamiento de 10000 datos.