

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA
VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA,
GUATEMALA, C.A.**

ANDREA STEFANIA SOLOMBRINO VÉLIZ

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
EN ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA
VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA,
GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

ANDREA STEFANIA SOLOMBRINO VÉLIZ

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERA AGRÓNOMA**

EN

**RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADA**

GUATEMALA, OCTUBRE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M. Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M. A. Jorge Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL V	Br. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Samabria

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

Guatemala, octubre de 2020

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **“Estudio de aspectos del proceso de eutrofización y de la vegetación acuática a terrestre de la laguna El Pino, Santa Rosa, Guatemala, C.A.”** como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Andrea Stefania Solombrino Véliz

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios

Quien siempre me ha bendecido grandemente con personas, experiencias y oportunidades. Toda mi gratitud por formar mi persona en todo sentido.

Mis abuelitos

Macario Véliz y Margarita Vásquez† por todo su apoyo desde siempre y su inmenso amor y ternura hacia mí.

Mi madre y su esposo

Doris Véliz Carrera por su amor incondicional y Harold Ocaña por su compañía.

Mis hermanos

Paolo Solombrino, por todo su apoyo incondicional durante todo el trayecto de mi carrera y ser quien me motivaba a continuar con su ejemplo. Este logro también es tuyo.
Gadiel Ocaña, Angello Ocaña y Gina Ocaña por todo su cariño.

Mi mejor amiga

Iris López Sánchez, por toda su confianza, cariño y apoyo.

Amigos y compañeros

Pedro Pablo de León, Alejandro Ardón, Maria Salazar, Dulce Barillas, Karen Gabriel Tzoc, Andrea Ordóñez, Juana Reynoso, Bella-elizabeth Guzmán, Nidia Torres, Adda Guevara, Álvaro Santos y Luis Reyes, por su amistad, compañía y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por permitirme culminar esta etapa.

Universidad de San Carlos de Guatemala, mi *alma mater*.

Facultad de Agronomía, por formarme como profesional.

Mi asesor, PhD. Vicente Martínez, por su acompañamiento, paciencia, orientación y enriquecimiento durante la realización de la investigación.

Mi supervisor, Ing. Agr. Walter Reyes, por su orientación durante el proceso de EPS y el enriquecimiento del documento.

Ing. Agr. Mario Véliz e Inga. Agr. Angelita Montejo, por el apoyo en la determinación botánica de la vegetación acuática y terrestre.

Departamento de Investigación Forestal, INAB, Ing. Agr. Javier de Paz, Ing. Agr. Rómulo Ramírez, Luis Morales y Joel Cutzal.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	PÁGINA
RESUMEN.....	X
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO FORESTAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB).....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 LOCALIZACIÓN	5
1.3 MARCO CONCEPTUAL.....	5
1.3.1 Instituto Nacional de Bosques	5
1.3.2 Organigrama.....	7
1.3.3 Dirección de Desarrollo Forestal	9
1.3.4 Proyecto de Investigación Forestal (PIF).....	16
1.3.5 Programa Nacional de Investigación Forestal (PNIF).....	17
1.3.6 Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF)	19
1.4 OBJETIVOS	21
1.4.1 General.....	21
1.4.2 Específicos	21
1.5 METODOLOGÍA.....	22
1.5.1 Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación.	22
1.5.2 Comparación entre el Programa Nacional de Investigación (2015) y el Proyecto de Investigación Forestal (1998).	22
1.5.3 Análisis FODA	22
1.6 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	23
1.6.1 Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación	23
1.6.2 Comparación entre el Programa Nacional de Investigación (2015) y el Proyecto de Investigación Forestal (1998)	25

	PÁGINA
1.6.3 Análisis FODA.....	28
1.7 CONCLUSIONES.....	31
1.8 RECOMENDACIONES	32
1.9 BIBLIOGRAFÍA.....	33
1.10 ANEXOS	35
CAPÍTULO II: ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.	43
2.1 INTRODUCCIÓN	45
2.2 MARCO TEÓRICO.....	48
2.2.1 Eutrofización	48
2.2.2 Sedimentación	50
2.2.3 Sucesión ecológica	52
2.2.4 Sucesión acuática	53
2.2.5 Contaminación en cuerpos de agua dulce	54
2.2.6 Variables de calidad de agua	57
2.2.7 Plantas hidrófitas.....	62
2.2.8 Plantas indicadoras	65
2.2.9 Estrategias de control y manejo del proceso de eutrofización	69
2.3 MARCO REFERENCIAL.....	72
2.3.1 Localización	72
2.3.2 Vías de acceso.....	74
2.3.3 Colindantes	74
2.3.4 Clima y temperatura	74
2.3.5 Cuencas hidrográficas.....	74
2.3.6 Usos del agua	77
2.3.7 Aspectos relevantes	77
2.4 OBJETIVOS	80

	PÁGINA
2.4.1 General.....	80
2.4.2 Específicos	80
2.5 HIPÓTESIS	80
2.6 METODOLOGÍA.....	81
2.6.1. Análisis de fuentes de contaminación.....	81
2.6.2 Estudio de la vegetación.....	82
2.6.3 Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna.....	87
2.6.4 Recomendaciones para revertir la eutrofización.....	90
2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
2.7.1 Identificación de fuentes de contaminación	91
2.7.2 Estudio de la vegetación.....	96
2.7.3 Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna.....	112
2.7.4 Recomendaciones para revertir la eutrofización.....	127
2.8 CONCLUSIONES	129
2.9 RECOMENDACIONES.....	131
2.10 BIBLIOGRAFÍA.....	132
2.11 ANEXOS.....	139
2.11.1 Identificación de fuentes de contaminación	139
2.11.2. Estudio de la vegetación	143
2.11.3. Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna	151
 CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL, DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO FORESTAL, DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES.....	
3.1 INTRODUCCIÓN.....	159
3.2 SERVICIO 1: Control y seguimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF).	160
3.2.1 Introducción	160

	PÁGINA
3.2.2 Objetivos	161
3.2.3 Metodología	161
3.2.4 Resultados	165
3.2.5 Evaluación.....	168
3.3 SERVICIO 2: Documentación del Departamento de Investigación Forestal.	169
3.3.1 Introducción.....	169
3.3.3 Metodología	170
3.3.4 Resultados	173
3.3.5 Evaluación.....	176
3.4 SERVICIO 3: Revisión del listado de especies forestales.....	177
3.4.1 Introducción.....	177
3.4.2 Objetivos	177
3.4.3 Metodología	177
3.4.4 Resultados	178
3.4.5 Evaluación.....	180
3.5 BIBLIOGRAFÍA	181
3.6. ANEXOS	182

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
Figura 1.	Organigrama del INAB.....	8
Figura 2.	Organigrama de DIF.	10
Figura 3.	Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación.....	24
Figura 4.	Porcentaje de investigaciones según año.....	27
Figura 5.	Plantas hidrófitas.	62
Figura 6.	Mapa de ubicación del Parque Nacional Laguna El Pino.	73
Figura 7.	Cuenca del río María Linda.....	76
Figura 8.	Mapa batimétrico de la laguna El Pino, del año 1985.....	78
Figura 9.	Mapa de distribución de puntos de muestreo y resultados.	92
Figura 10.	Dendrograma de transectas, por medio de promedios ponderados.	107
Figura 11.	Perfil florístico del primer grupo de transectas.	108
Figura 12.	Perfil florístico del segundo grupo de transectas.	109
Figura 13.	Perfil florístico del tercer grupo de transectas.	110
Figura 14.	Perfil florístico del cuarto grupo de transectas.	111
Figura 15.	Medición de la profundidad de la laguna, trayecto de Oeste a Este.	112
Figura 16.	Medición de la profundidad de la laguna, trayecto de Sur a Norte.....	113
Figura 17A.	Fuentes de contaminación localizadas.	142
Figura 18A.	Recolección de vegetación y realización de transectas de vegetación.....	145
Figura 19A.	Herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.	146
Figura 20A.	Determinación vegetal de las plantas recolectadas en el Parque Nacional Laguna El Pino.....	147
Figura 21A.	Determinación vegetal de las plantas recolectadas en el Parque Nacional Laguna El Pino.....	147
Figura 22A.	Carta extendida del herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, como comprobante del trabajo de determinación florística de las especies enlistadas.	148

Figura 23A.	Listado de plantas determinadas en el herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.....	149
Figura 24A.	Listado de plantas determinadas en el herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.....	150
Figura 25A.	Medición de profundidad de la laguna.....	152
Figura 26A.	Recolección de muestras de agua.	153
Figura 27A.	Recolección de muestras de suelo.....	155
Figura 28A.	Recolección de muestras de sedimentos.....	156
Figura 29.	Control de boletas de remediación 2017; resaltado de la base de datos de Excel®.....	162
Figura 30.	Control de informes de medición consecutiva 2017; resaltado de la base de datos de Excel®.	163
Figura 31.	Remarcación de la numeración de los árboles, y línea de DAP.....	165
Figura 32.	Paso uno, ingreso a la página principal de la página web del INAB.....	172
Figura 33.	Paso dos, pinchar a consulta de tesis.	172
Figura 34.	Paso tres, abrir y/o guardar la base de datos de investigación forestal.....	172
Figura 35.	Codificación de color, de acuerdo con el tipo de cambio que tienen las especies forestales.....	178
Figura 36A.	Formulario 1, boleta de inscripción de la finca.....	182
Figura 37A.	Formulario 1, boleta de descripción de la finca.	183
Figura 38A.	Formulario 2, boleta de descripción de experimento.	184
Figura 39A.	Formulario 2, boleta de descripción del experimento.	185
Figura 40A.	Formulario 3, boleta de croquis del experimento.....	186
Figura 41A.	Formulario 3, boleta de croquis del experimento.....	187
Figura 42A.	Formulario 4, boleta de descripción de la parcela.	188
Figura 43A.	Formulario 4, boleta de descripción de la parcela.	189
Figura 44A.	Formulario 5, boleta de croquis de árboles dentro de la parcela.	190
Figura 45A.	Formulario 5, boleta de croquis de árboles dentro de la parcela.	191
Figura 46A.	Formulario 6, boleta de medición de árboles en pie.	192
Figura 47A.	Formulario 6, boleta de medición de árboles en pie.	193

PÁGINA

Figura 48A. CDs correspondientemente revisados.	194
Figura 49A. Revisión de documentos físicos en CINFOR.	195
Figura 50A. Documentos revisados y ordenador en CINFOR.	195
Figura 51A. Gráfica de porcentajes de áreas temáticas de acuerdo con el Plan de Investigación Forestal.	196
Figura 52A. Presentación de resultados de diagnóstico y servicios realizados en el Departamento de Investigación Forestal, Dirección de Desarrollo Forestal, INAB.	197

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Áreas que contemplaba el Proyecto Nacional de Investigación.	25
Cuadro 2. Investigaciones realizadas desde 1998 al 2017.	26
Cuadro 3. Matriz FODA.....	28
Cuadro 4A. Áreas, subáreas y líneas priorizadas en el Proyecto de Investigación Forestal del 1998.....	35
Cuadro 5A. Área temática y sus correspondientes líneas de investigación del Programa Nacional de Investigación Forestal.	41
Cuadro 6. Uso potencial de degradación asociado con contaminación de sedimentos.	51
Cuadro 7. Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad de agua en embalses.	57
Cuadro 8. Concentración de fósforo total con relación al estado trófico de los cuerpos de agua.....	60
Cuadro 9. Clasificación de fuentes de contaminación del cuerpo de agua.	94
Cuadro 10. Especies vegetales encontradas en las transectas laguna El Pino, con su familia y origen.....	96
Cuadro 11. Índice de valor de importancia de las especies herbáceas.	99
Cuadro 12. Índice de importancia de las especies arbustivas.....	101
Cuadro 13. Índice de valor de importancia de las especies arbóreas.	102
Cuadro 14. Matriz de densidad de especies por transecta.	103
Cuadro 15. Resumen del índice de diversidad de Shannon Wiener (H') y del índice de equidad de Pielou (J').	105
Cuadro 16. Matriz de distancia euclidiana.....	106
Cuadro 17. Resultados de los análisis de agua de laguna del Pino.....	115
Cuadro 18. Resultados de los análisis de suelos.....	121
Cuadro 19. Resultados de análisis de sedimentos.	125
Cuadro 20. Recomendaciones para revertir y/o alentar el proceso de eutrofización de la laguna.	127
Cuadro 21A. Entrevista estructurada.....	139

PÁGINA

Cuadro 22A. Coordenadas de las fuentes de contaminación localizadas.	141
Cuadro 23A. Boleta del establecimiento de parcelas.....	143
Cuadro 24A. Boleta de información para la colecta de vegetación.....	144
Cuadro 25A. Coordenadas de ubicación de las transectas realizadas.	144
Cuadro 26A. Coordenadas de donde se registró las profundidades de la laguna.	151
Cuadro 27A. Boleta de identificación de muestras de agua.	152
Cuadro 28A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de agua.	153
Cuadro 29A. Boleta de identificación de muestras de suelos.	154
Cuadro 30A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de suelos.....	154
Cuadro 31A. Boleta de identificación de sedimentos.....	155
Cuadro 32A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de sedimentos.....	156
Cuadro 33. Control de boletas digitalizadas de remediación 2017 de la Región II y Región VIII.	165
Cuadro 34. Informes de medición consecutiva generados para los años 2015-2016, y 2016-2017.....	166
Cuadro 35. Apoyo en remediciones de las PPMF correspondientes a la medición 2018.....	167
Cuadro 36. Tipos de documentos encontrados en la revisión de CDs.	173
Cuadro 37. Corroboración de documentos físicos.....	174
Cuadro 38. Porcentaje de documentos/investigaciones de acuerdo con el área temática, según el Programa Nacional de Investigación Forestal.....	174
Cuadro 39. Documentos disponibles en la página del INAB.	175
Cuadro 40. Listado de especies forestales que cambiaron de nombre científico (2018).	178
Cuadro 41. Nombres científicos, que ahora figuran como sinónimos.....	179
Cuadro 42. Resumen de actualización, de acuerdo con el tipo de cambio.	179

ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE, DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO FORESTAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB).

RESUMEN

El presente documento constituye el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), de la Facultad de Agronomía, realizado entre los meses de febrero de 2018 a diciembre de 2018, en el Departamento de Investigación Forestal de la Dirección de Desarrollo Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB). El mismo consta de un diagnóstico institucional, una investigación de campo y un informe de los servicios prestados a la institución.

El diagnóstico se enfocó en el Departamento de Investigación Forestal, contemplando principalmente la comparación del Proyecto de Investigación Forestal (1998) y el Programa Nacional de Investigación Forestal (2015), analizando el alcance que tuvo/tiene el correspondiente lineamiento para la investigación forestal a nivel nacional; así mismo, se identificaron necesidades específicas dentro del departamento, las cuales dieron paso a determinar algunos de los servicios a realizar.

En la fase de investigación, se llevó a cabo en el Parque Nacional Laguna El Pino, Santa Rosa, abordándose la problemática de la eutrofización y la vegetación acuática a terrestre, a orillas de la laguna, en forma exploratoria. La investigación se dividió en cuatro fases, a) la identificación de fuentes contaminantes de origen antrópico, b) el estudio vegetativo a orillas de la laguna, c) el enriquecimiento nutritivo de la laguna y c) propuestas de mitigación de la eutrofización.

El parque posee un área total de 150 ha, y la laguna un área de 64.60 ha. De acuerdo con los recorridos se identificaron 26 fuentes antrópicas contaminantes hacia la laguna, las

cuales se clasifican en: a) desechos orgánicos, b) compuestos orgánicos, c) sedimentos y materiales suspendidos, y d) nutrientes vegetales inorgánicos; según con esto, se determinaron donde se realizarían las transectas, recolección de vegetación, y muestras de aguas, suelos y sedimentos.

Así mismo, se encontró un total de 34 especies vegetales, las cuales van desde plantas acuáticas hasta tierra firme; de acuerdo con el Índice de Valor de Importancia de Cottam, el estrato herbáceo es el más representativo, conformado principalmente por las plantas acuáticas y transitorias; además, debido a la diversidad que hay en las orillas de la laguna, la zonificación y estratificación de las especies, las transectas realizadas muestran mayormente heterogeneidad.

Para el estudio del enriquecimiento de la laguna, se realizó primero la medición de la profundidad de la laguna, se estimó que la profundidad máxima de Este a Oeste, es de 7.15 m en época de lluvia; argumentando que su pérdida de profundidad se puede deber al ingreso de sedimentos de suelo y formación de materia orgánica proveniente de la descomposición del material vegetativo acuático.

Además, en las muestras de agua, en áreas con vegetación y cerca de centros poblados se perciben mayormente afectadas por la demanda bioquímica, la demanda química de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total, en las orillas de la laguna. En los resultados de las muestras de suelos las áreas en las que los porcentajes son más altos de materia orgánica tienen características que hay cobertura de cultivo de grama y suelos semidesnudos. Por último, en las muestras de sedimentos, tienen valores altos de nitrógeno total y M.O. en el área donde hay mayor interacción humana y poblaciones de *Typha domingensis* Pers e *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees, y se presentan sedimentos con concentraciones altas de fósforo y en áreas con basura flotante los sedimentos son ácidos.

Finalmente, para mitigar la eutrofización en la laguna, primero se debe de considerar la recategorización del área protegida, para continuar con la toma de decisiones y

actividades para ir revirtiendo el proceso de eutrofización y enfocar el área para conservación de la laguna.

Por último, se desarrollaron tres servicios, donde el primero, el control y seguimiento de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF), el cual consistió en la actualización de la base de datos que se maneja (Excel® y MIRA-SILV), así también, el apoyo de remediación de parcelas permanentes; el segundo, la documentación del Departamento de Investigación Forestal, el cual se basó principalmente en la base de datos que se maneja de investigaciones forestales; y el tercero, revisión del listado de especies forestales, en el cual, se actualizaron diferentes campos (código de la especie, nombre científico, autor, sinónimos, nombre común, usos, tipo de especie, procedencia, si es nativa, si es conífera o latifoliada y si aparece en el apéndice de CITES) del listado de especies forestales que se maneja.



CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO FORESTAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB).

1.1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), se creó mediante el Artículo 5 del Decreto 101-96 de la Ley Forestal; siendo ésta una entidad estatal, autónoma, descentralizada, con personalidad jurídica, patrimonio propio e independencia administrativa, iniciando sus labores en 1996 (Congreso de la República de Guatemala 1996).

El INAB está conformado principalmente por la Junta Directiva y la Gerencia, subdividiéndose para su funcionamiento en tres unidades, tres direcciones sustanciales y cinco direcciones operativas y diecisiete departamentos.

En las direcciones sustanciales, está la Dirección de Desarrollo Forestal, el cual con la reestructura de la institución en el 2012, se crea el Departamento de Investigación Forestal (DIF), con el propósito de asignar un responsable directo en las actividades de seguimiento y culminación de la agenda de investigación, así como de su implementación a nivel nacional (INAB 2015).

Entre las actividades que contempla el DIF, están principalmente las Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) en plantaciones y bosques naturales, las cuales se basan principalmente en la remediación, digitalización y administración de esta información, que permiten la generación de datos orientados a servir de herramientas para el desarrollo de actividades de manejo forestal sostenible (principalmente en plantaciones). Así mismo, apoya la consolidación y liderazgo del INAB dentro de la Estrategia de Investigación Forestal Nacional; formula, gestiona y monitorea propuestas de investigación forestal; coordina actividades; y realizan la elaboración de documentos, fichas técnicas, trifoliales (en coordinación con la Unidad de Divulgación Forestal).

Cabe agregar, que según las atribuciones del INAB, establecidas en el inciso c, Artículo 6 de la Ley Forestal, se dicta “impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación” (Congreso de la República de Guatemala 1996: 3), en donde para dar cumplimiento a la atribución, se elabora inicialmente un Proyecto de Investigación Forestal en 1998, el cual dirige la investigación forestal durante siete años, pero, para consolidar el

papel del INAB para el liderazgo dentro de la Estrategia de Investigación Forestal Nacional, se realiza el Programa Nacional de Investigación Forestal, siendo éste publicado en el 2015; en éste, se priorizan once áreas temáticas, mediante reuniones en donde se contó con la participación de diferentes instituciones del ente público y privado. En la actualidad, este documento guía la investigación del sector forestal a nivel nacional.

Mediante el diagnóstico del DIF, se identificaron las principales problemáticas que presenta el departamento, mediante un análisis FODA; así mismo, se realizó un análisis comparativo entre el Proyecto de Investigación Forestal (PIF) con el Programa Nacional de Investigación Forestal (PNIF); y por último, se analizaron las áreas temáticas propuestas por el Programa Nacional de Investigación, mediante la integración y avance que éstas tienen en las investigaciones realizadas en los últimos diez años (1998 a 2018).

1.2 LOCALIZACIÓN

El Departamento de Investigación Forestal, está dentro de la Dirección de Desarrollo Forestal, localizado en las Oficinas Centrales del Instituto Nacional de Bosques, las cuales se encuentran ubicadas en la 7ª av. 12-90, zona 13, de la ciudad de Guatemala.

1.3 MARCO CONCEPTUAL

1.3.1 Instituto Nacional de Bosques

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), inició sus labores en 1996, el cual se estableció de acuerdo con el Artículo 5 del Decreto 101-96 de la Ley Forestal; entidad estatal, autónoma, descentralizada, con personalidad jurídica, patrimonio propio e independencia administrativa, es el órgano de dirección y autoridad competente del sector Público Agrícola, en material forestal (Congreso de la República de Guatemala 1996).

De acuerdo con el Artículo 1 de la Ley Forestal, se declara de urgencia nacional e interés social la reforestación y la conservación de los bosques, para lo cual se propicia el desarrollo forestal y su manejo sostenible, trabaja para el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- a) Reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y el clima.
- b) Promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera.
- c) Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo con su potencial biológico y económico, fomentando el uso de sistemas y equipos industriales que logren el mayor valor agregado a los productos forestales.
- d) Apoyar, promover e incentivar la inversión pública y privada en actividades forestales para que se incremente la producción, comercialización, diversificación, industrialización y conservación de los recursos forestales.

- e) Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva.
- f) Propiciar el mejoramiento del nivel de vida de las comunidades al aumentar la provisión de bienes y servicios provenientes del bosque para satisfacer las necesidades de leña, vivienda, infraestructura rural y alimentos (Congreso de la República de Guatemala 1996).

Así también, en el Artículo 6 de la Ley Forestal, se detallan las atribuciones del INAB, siendo las siguientes:

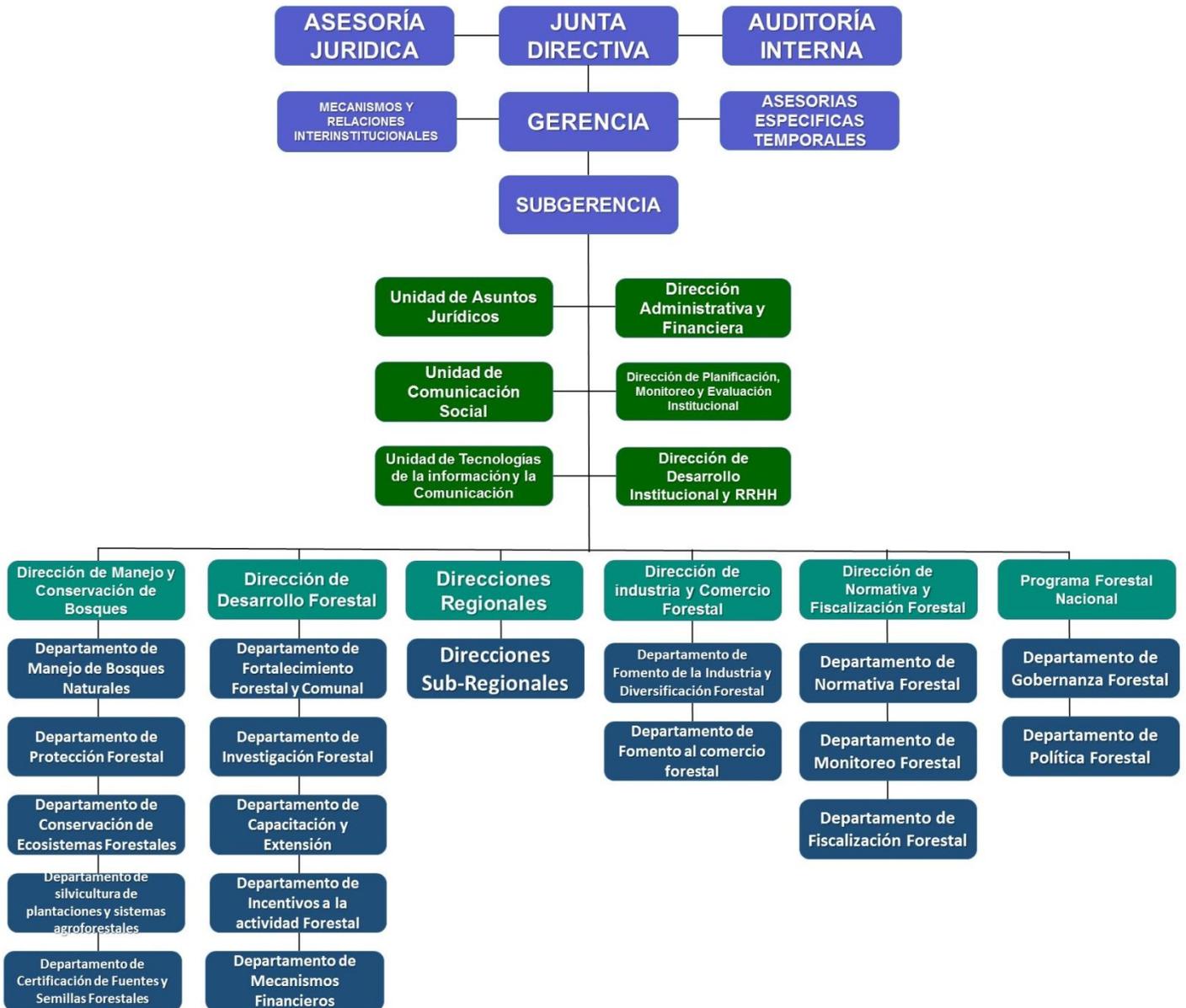
- a) Ejecutar las políticas forestales que cumplan con los objetivos de esta ley;
- b) Promover y fomentar el desarrollo forestal del país mediante el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la industria y la artesanía forestal, basada en los recursos forestales y la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas;
- c) Impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación;
- d) Coordinar la ejecución de programas de desarrollo forestal a nivel nacional;
- e) Otorgar, denegar, supervisar, prorrogar y cancelar el uso de las concesiones forestales, de las licencias de aprovechamiento de productos forestales, fuera de las áreas protegidas;
- f) Desarrollar programas y proyectos para la conservación de los bosques y colaborar con las entidades que así lo requieran;
- g) Incentivar y fortalecer las carreras técnicas y profesionales en materia forestal;
- h) Elaborar los reglamentos específicos de la institución y de las materias de su competencia; e,

- i) Las demás atribuciones que le correspondan, conforme la presente ley y otras disposiciones que le sean aplicables (Congreso de la República de Guatemala 1996).

1.3.2 Organigrama

El nivel superior administrativo del INAB está conformado por la Junta Directiva y la Gerencia (Congreso de la República de Guatemala 1996). Para su funcionamiento el INAB se subdivide en varias unidades técnicas, científicas y administrativas, direcciones y departamentos para el cumplimiento de sus atribuciones. Como entidad estatal descentralizada, el INAB cuenta con nueve oficinas Regionales y treinta y tres oficinas Subregionales para su funcionamiento operacional a nivel nacional (García 2014).

A continuación, se detalla la jerarquía organización del INAB.



Fuente: (INAB 2018)

Figura 1. Organigrama del INAB.

1.3.3 Dirección de Desarrollo Forestal

La Dirección de Desarrollo Forestal, es una dirección sustantiva, en la cual se encuentran los departamentos de Fortalecimiento Municipal y Comunal; Capacitación y Extensión; Investigación Forestal; Incentivos Forestales; y la Unidad de Cambio Climático.

A. Departamento de Investigación Forestal

En sus inicios, el INAB creó el Proyecto de Investigación Forestal, posteriormente a éste se le llamó Oficina de Investigación Forestal, que con la reestructura de la institución en el 2012, se crea el Departamento de Investigación Forestal, dentro de la Dirección de Desarrollo Forestal (DIF), para la asignación de un responsable directo a las actividades de seguimiento y acumulación de la agenda de investigación, así como de su implementación a nivel nacional, permitiendo generar conocimiento que contribuya al fomento y provisión sustentable de bienes y servicios que satisfagan las necesidades energéticas, vivienda, infraestructura y agroindustria, como mecanismos para garantizar los medios de vida de la sociedad Guatemalteca y reducir la vulnerabilidad socio ambiental de Guatemala (INAB 2015).

El DIF es el responsable de brindar apoyo a la consolidación y liderazgo del INAB dentro de la Estrategia de Investigación Forestal Nacional; formulación, gestión y monitoreo de las propuestas de investigación forestal presentadas para su ejecución con fondos nacionales y de cooperación externa; coordinación de actividades que permitan la generación de información y datos orientados a servir de herramientas para el desarrollo de actividades de manejo forestal sostenible, principalmente en plantaciones forestales; elaboración, en coordinación con la Unidad de Divulgación Forestal, de documentos, fichas técnicas y trifoliales, entre otros, con la información generada a través de las parcelas permanentes.

B. Organigrama

El DIF está conformado en su estructura organizacional, a partir de 4 puestos fijos y un temporal; donde el temporal pertenece al auxiliar de investigación, que es dado a

estudiantes de niveles medios y universitarios. En la figura 2, se detalla la jerarquía organizacional del departamento.



Fuente: (Morán 2017)

Figura 2. Organigrama de DIF.

Donde: Puesto fijo
 Puesto temporal

C. Funciones

A continuación, se detallan las diferentes funciones que realiza el personal en los distintos puestos del DIF.

a. Jefe de Investigación

- Planificar, organizar, coordinar, dirigir, evaluar y controlar las actividades que se desarrollan en la jefatura a su cargo, orientadas a fortalecer los procesos, en forma técnica y profesional, tomando como base los objetivos y políticas institucionales, siendo responsable ante la Gerencia del buen desempeño de la misma.
- Coordinar las acciones necesarias para la implementación del Programa Nacional de Investigación Forestal.

- Coordinar e implementar las acciones necesarias que permitan la consolidación y funcionamiento de las tres redes de parcelas permanentes de medición forestal a nivel nacional.
- Elaborar y ejecutar el Plan Operativo Anual del Departamento de investigación forestal.
- Apoyar en mantener la consolidación y liderazgo del INAB dentro del programa de Investigación Forestal Nacional.
- Formular y gestionar Planes, Proyectos y Programas para el fortalecimiento de la investigación forestal en Guatemala.
- Establecer y mantener Alianzas Estratégicas con Organizaciones de Investigación Forestal Nacional e Internacional para desarrollar actividades de Investigación de interés mutuo.
- Implementar líneas de Investigación Forestal mediante propuestas concretas de trabajo.
- Formular, gestionar y monitorear propuestas de Investigación Forestal Nacional e Internacionalmente.
- Participar en la revisión de los documentos de Investigación Forestal aprobados (Tesis, Informes, Folletos, entre otros).
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la misma de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la misma de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.

- Promover el trabajo institucional con pertinencia cultural, específicamente con Pueblos Indígenas.
- Otras actividades que le sean requeridas por su Jefe Inmediato Superior (INAB, 2017).

b. Responsable de Investigación Forestal

- Elaboración y gestión de Proyectos e iniciativas orientadas a la búsqueda de apoyo técnico y financiero para impulsar actividades de investigación forestal.
- Elaborar y dar seguimiento de Planes Operativos de departamento.
- Revisar y dar seguimiento de los planes de trabajo de trabajo presentados por los investigadores que coordinan con el INAB.
- Coordinar la gestión y seguimiento de propuestas de investigación forestal o de recursos naturales en función de las diferentes líneas de financiamiento de las instituciones donantes, basándose principalmente en el Programa Nacional de Investigación Forestal.
- Realizar la ejecución y coordinación de la Estrategia de Divulgación de las Investigaciones Forestales.
- Mantener al día la Base de Datos de las Investigaciones realizadas por el INAB en coordinación con otros actores.
- Mantener al día los resúmenes de cada uno de los documentos de investigación que se tienen en la base de datos del Departamento de Investigación Forestal.
- Asesorar y supervisar en campo la investigación forestal relacionada con Tesis y Epistas en investigaciones asignadas.
- Elaborar y revisar de documentos técnicos de investigación y otros relacionados con el Departamento de Investigación Forestal.

- Coordinar, implementa y da seguimiento a las acciones para el fortalecimiento de los grupos regionales de investigación.
- Participar en las Comisiones, Reuniones, Seminarios, Talleres, Eventos de Capacitación, entre otros, a que fuere designado por el Jefe del Departamento de Investigación Forestal.
- Realizar junto al Jefe del Departamento de Investigación Forestal en la elaboración de informes.
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la misma de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.
- Promover la igualdad de género en las acciones del puesto que sean propias.
- Promover el trabajo institucional con pertinencia cultural, específicamente con Pueblos Indígenas.
- Otras actividades que le sean requeridas por su Jefe Inmediato Superior (INAB 2017).

c. Responsable de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF)

- Planificación y calendarización de la remediación de parcelas permanentes en plantaciones forestales, y bosques naturales en coordinación con las regiones forestales y demás actores.
- Coordinación de actividades que permitan la generación de información y datos orientados a servir de herramientas para el desarrollo de actividades de manejo forestal sostenible, principalmente en plantaciones forestales.
- Definición de líneas prioritarias de investigación forestal conjuntamente con el Jefe del Departamento de Investigación Forestal para realizar los estudios respectivos.

- Elaboración de los informes técnicos derivados del sistema de monitoreo y evaluación forestal, en plantaciones y bosques naturales.
- Elaboración de documentos técnicos, fichas técnicas, trifoliales, entre otros. Con la información generada a través de las parcelas permanentes.
- Coordinar e implementar las acciones necesarias que permitan la consolidación y funcionamiento de las tres redes de parcelas permanentes de medición forestal a nivel nacional.
- Elaboración de informes de crecimiento y productividad de plantaciones que sean solicitados por el Jefe de Investigación, Director de Desarrollo Forestal y demás autoridades que lo requieran.
- Socialización de resultados derivados del monitoreo y evaluación, en plantaciones forestales y Bosques Naturales.
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la misma de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.
- Promover la igualdad de género en las acciones del puesto que sean propias.
- Promover el trabajo institucional con pertinencia cultural, específicamente con Pueblos Indígenas.
- Otras actividades que le sean requeridas por su Jefe Inmediato Superior (INAB 2017).

d. Digitalizador de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF)

- Coordinar con Asistente de PPMF, en la planificación y calendarización de la remediación de parcelas permanentes de medición forestal en plantaciones forestales, y bosques naturales en coordinación con las subregiones del INAB y demás actores.
- Asiste al personal técnico de las subregiones en cuanto al uso de los softwares para el almacenamiento de las bases de datos de parcelas permanentes de medición forestal y sus actualizaciones.
- Coordinar técnicamente al Asistente de PPMF para coordinar actividades que permitan la generación de información y datos orientados a servir de herramientas para el desarrollo de actividades de manejo forestal sostenible.
- Presenta informes periódicos de avances relativos a las bases de datos de las diferentes redes de parcelas permanentes al Asistente de PPMF, jefe de investigación, Director de Desarrollo Forestal y demás autoridades que lo requieran.
- Coordinar técnica y administrativamente las actividades de capacitación relacionadas al uso y manejo de bases de datos.
- Revisa e integra los datos de campo recabados por las redes de parcelas permanentes de medición forestal establecidas a nivel nacional.
- Coordinar al Asistente de PPMF en la elaboración de informes de crecimiento y productividad de plantaciones Forestales que le sean solicitados.
- Realiza actualización constante de las bases de datos de parcelas permanentes de medición forestal.
- Participar en las actividades de campo enmarcadas en el establecimiento, medición, habilitación y mantenimiento de parcelas permanentes de las tres redes.
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la

misma, de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.

- Promover la igualdad de género en las acciones del puesto que sean propias.
- Promover el trabajo institucional con pertinencia cultural, específicamente con Pueblos Indígenas.
- Otras actividades que le sean requeridas por su Jefe Inmediato Superior (INAB 2017).

e. Auxiliar de Investigación (Ejecutores de EPS o practicantes de nivel medio)

- Apoyar en las actividades de campo enmarcadas dentro del restablecimiento, recuperación y/o instalación de parcelas permanentes (levantamiento de datos).
- Apoyar en la sistematización de la información generada en las PPMF en bosque natural de coníferas.
- Apoyar en el uso y manejo del software de MIRASILV, dirigido hacia los actores del sector forestal miembros de la red de PPMF en bosque natural de coníferas.
- Apoyar en la elaboración de informes técnicos requeridos de acuerdo con los avances de las actividades ejecutadas en el desarrollo del proyecto.
- Presentar ante el coordinador del proyecto, el informe final de las actividades realizadas durante el tiempo que dure su Ejercicio Profesional Supervisado o Práctica (Documento de graduación para optar al respectivo título) (Morán 2017).

1.3.4 Proyecto de Investigación Forestal (PIF)

En 1998 se creó el Proyecto de Investigación Forestal (PIF), el cual guiaba las investigaciones realizadas en el sector forestal. “El principal objetivo de la propuesta de investigación forestal, era el desarrollo sostenible, mediante la generación, adaptación, aplicación y divulgación de información relacionada a ecosistemas forestales y otros vinculados al mismo” (Donado y Barrios 1998: 1).

El PIF contaba con una serie de áreas y líneas de investigación (cuadro 4A), las cuales se consideraban necesarias para el logro de la sostenibilidad del recurso forestal. Las áreas y líneas consideradas tenían dos objetivos principales: “el primero, era la investigación de las causas y procesos que conducen al deterioro del recurso forestal; y el segundo, era proporcionar la información base necesaria para lograr la sostenibilidad, mediante el mejoramiento de la participación multilateral, la cantidad, calidad, usos y valoración de los ecosistemas y productos forestales y los vinculados al mismo, y también, mediante la transferencia y divulgación adecuada de la información” (Donado Torres y Barrios Chicas 1998: 22).

1.3.5 Programa Nacional de Investigación Forestal (PNIF)

De acuerdo con el Decreto 63-91, de la Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico Nacional, en el Artículo 4, se considera que el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología está integrado por el conjunto de instituciones, entidades y órganos del Sector Público, del Sector Privado, del Sector Académico, personas individuales y jurídicas y centros de investigación y desarrollo regionales que realicen actividades científico-tecnológicas (Congreso de la República de Guatemala 1991). En donde, en materia de investigación forestal, el INAB como entidad estatal rectora y el Sector Académico, han coordinado esfuerzos y recursos que les han resultado en ser reconocidos como los líderes en cuanto al desarrollo científico y tecnológico se refiere, mediante la generación de iniciativas y proyectos de investigación implementados a nivel nacional (INAB 2015).

Así mismo, el Decreto Legislativo 101-96 de La Ley Forestal, en el inciso c del Artículo 6, se dicta “impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación”, por lo que, con la creación del Departamento de Investigación Forestal e iniciativas de diversas instituciones vinculadas al sector forestal nacional, el proceso de generación del Programa Nacional de Investigación Forestal, el cual pretende consolidar el papel del INAB como ente rector en materia forestal a través del establecimiento de directrices y líneas de investigación (INAB 2015).

Uno de los objetivos principales del Programa Nacional de Investigación Forestal es establecer y priorizar áreas temáticas de investigación a nivel nacional, en el sector forestal; para esto se realizaron reuniones interinstitucionales con la participación de:

- Instituto Nacional de Bosques (INAB).
- Secretaria Nacional de Ciencias y Tecnologías (SENACYT).
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).
- Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Universidad del Valle de Guatemala (UVG).
- Universidad Rafael Landívar (URL).
- Centro de Estudios Conservacionistas (CECON).
- Universidad Rural de Guatemala.
- CARE Guatemala.

De las reuniones interinstitucionales, surgieron once áreas temáticas, de las cuales se desglosan treinta y cinco líneas de investigación; esto como herramienta orientadora de investigación forestal.

Las áreas temáticas son:

1. Recursos Genéticos.
2. Manejo y Protección Forestal.
3. Dendroenergía.
4. Cambio Climático.
5. Funcionalidad Ecosistémica.
6. Diversidad Biológica y Ecosistemas.
7. Industria y Comercio Forestal.
8. Tenencia y Ordenamiento del Territorio.
9. Economía Forestal.
10. Política y Legislación Forestal.
11. Gestión Forestal Local.

1.3.6 Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF)

Las Parcelas Permanentes de Medición Permanente (PPMF) son una herramienta de investigación forestal a mediano y largo plazo, las cuales tienen la finalidad de conocer la dinámica de crecimiento y cambios estructurales del recurso forestal a través del tiempo; información que es posible únicamente mediante procesos sistemáticos de investigación. Para éstos, se emplean unidades de muestreo de tipo permanentes.

PPMF se realizan tanto en bosques naturales, como en plantaciones; la red de parcelas se encuentran distribuidas en todos los departamentos del país aunque lógicamente la mayor cantidad se ubica en las tres regiones priorizadas: Las Verapaces, El Petén e Izabal (Marmillo 2012).

La información generada por las PPMF tiene las siguientes aplicaciones a nivel institucional.

- Aplicación operativa: permite calcular la volumetría, conocer el estado y calidad de la plantación, como base para la planificación de las intervenciones silvícolas y determinación de los beneficios económicos provenientes del bosque.
- Aplicación administrativa: constituye un instrumento técnico de investigación que provee elementos técnicos para la definición de políticas y estrategias, así como, la creación de herramientas que orienten el accionar de los usuarios en función de maximizar la productividad (García 2014).

Con respecto a las actividades que se realizan en el sistema de redes de parcelas permanentes de medición forestal se encuentran:

- Medición de las plantaciones forestales, bosque natural de coníferas y latifoliadas.
- Actualización permanente de las bases de datos con información dasométrica de plantaciones y bosque natural de coníferas.
- Generación de herramientas y documentos técnicos que permitan la orientación del manejo forestal.

- Coordinación interinstitucional para la realización de monitoreo que implica al CONAP, propietarios, coadministradores de áreas protegidas, concesiones forestales (Morán 2017).

Hasta el 2017 se tenían 956 PPMF, de las cuales 880 se encuentran en plantaciones forestales, mientras que 76 en bosque natural de coníferas; este proyecto es financiado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) y se destina un porcentaje por parte del INAB, estos fondos son administrados por el Consejo Nacional de Estándares de Manejo Forestal Sostenible para Guatemala (CONESFORGUA) (Morán 2017).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Realizar un diagnóstico de la situación hasta el 2017 del Departamento de Investigación del Instituto Nacional de Bosques, enfocado en la base de documentación de investigación y la relación entre áreas temáticas de investigación del Programa Nacional de Investigación Forestal.

1.4.2 Específicos

1. Analizar la base de documentación, de acuerdo con el desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación.
2. Realizar una comparación entre el Programa Nacional de Investigación y el Proyecto de Investigación Forestal.
3. Identificar las problemáticas que presenta el Departamento de Investigación, mediante un análisis FODA.

1.5 METODOLOGÍA

1.5.1 Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación

- Se realizó una revisión del *Programa Nacional de Investigación* publicado en el 2015, con el fin de identificar las diferentes áreas temáticas y líneas de investigación, y el avance de éstas en la investigación.
- Mediante gráficas y tablas, se analizó la información de una manera integral.

1.5.2 Comparación entre el Programa Nacional de Investigación (2015) y el Proyecto de Investigación Forestal (1998)

- Se realizó una revisión de la *Proyecto de Investigación Forestal* publicado el 1998, para identificar las áreas, subáreas y líneas de investigación.
- Se revisó del *Programa Nacional de Investigación* publicado en el 2015, con el fin de identificar las diferentes áreas temáticas y líneas de investigación, y el avance de éstas en la investigación.
- Se analizó la información mediante tablas comparativas.

1.5.3 Análisis FODA

- Se realizó un reconocimiento de las instalaciones de la Dirección de Desarrollo Forestal, en donde se identificaron los cargos y a las personas que los ocupan; enfocándose únicamente en el Departamento de Investigación Forestal.
- Se efectuaron diversas entrevistas no estructuradas, con la finalidad de conocer el funcionamiento y el desarrollo de actividades del DIF; así también, la recopilación de información bibliográfica, con el fin de poseer las herramientas necesarias para el análisis de la información.
- Se reconoció las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta el departamento, según las entrevistas e información secundaria obtenida.

- Se realizó una matriz de análisis FODA, para la dividir los diferentes aspectos y facilitar el análisis integral de los mismos.

1.6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

1.6.1 Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación

El *Programa Nacional de Investigación Forestal*, está conformado por once áreas temáticas, las cuales se conceptualizan como una disciplina y hace referencia a un campo de estudio que requiere investigación a una escala mayor de coordinación e implementación. Así mismo, de cada área temática, se desglosan las líneas de investigación, para el desarrollo de programas en un área determinada. Con esto, se pretende abordar a un corto, mediano y largo plazo, problemas generales de investigación identificados en diversos ámbitos incluyendo forestal, ecológico, de desarrollo económico, legislativo, social, entre otros, los cuales son prioritarios para el INAB.

Desde el 2015 se publicó el *Programa de Investigación Forestal*, se han generado 41 investigaciones, siendo éstas del 2015, 2016 y 2017, correspondiéndoles 5.33 %, 3.55 % y 3.25 % a los diferentes años.

Cabe considerar que, a partir de finales de la última década, las instituciones nacionales han unido y duplicado esfuerzos para hacer eficiente el uso de los recursos financieros disponibles, debido a una reducción y recorte de los recursos por la cooperación internacional para el desarrollo de investigación básica y aplicada en las diferentes temáticas. Por lo que se han generado resultado de investigación forestal a través de programas académicos, y de investigación que se desarrollan en diferentes campus y centros de investigación universitaria, tales como la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), Universidad Del Valle de Guatemala (UVG), Universidad Rafael Landívar (URL), Universidad Rural de Guatemala (UR); así mismo, en los institutos y escuelas técnicas de nivel medio como la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), Instituto de Ciencias Agroforestales y Vida Silvestre (ICAVIS), Escuela Técnica de

Formación Forestal (ESTEFFOR), Escuela de Agricultura del Nororiente (EANOR), entre otros (INAB 2015).

Por otra parte, de la base de datos de investigación actualizada hasta el 2017, se han ido clasificando los 338 documentos en las diferentes áreas temáticas, las cuales a continuación se presentan en la figura 3, mostrando el desarrollo del área en porcentaje.

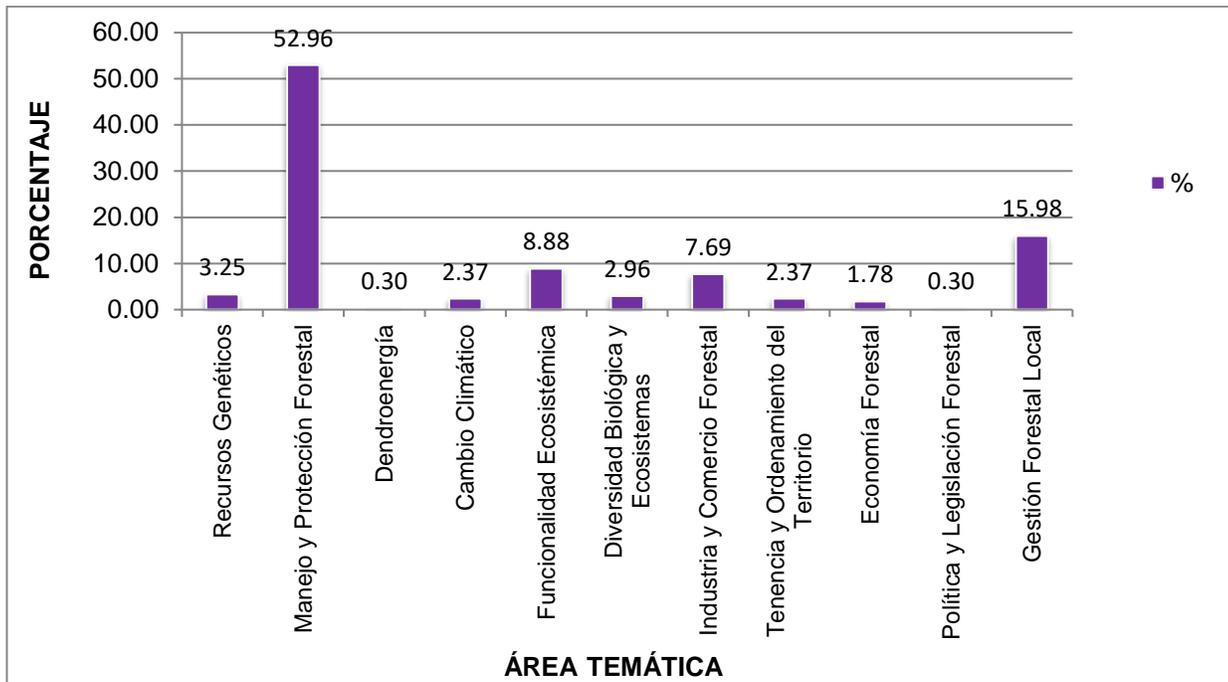


Figura 3. Desarrollo de las áreas temáticas del Programa Nacional de Investigación.

De las áreas temáticas, se ha tenido una generación de investigación más favorable en *Manejo y Protección Forestal*, el cual cuenta con un 52.96 %, siendo un total de 179 documentos, cabe agregar que esta área temática se concentra la información de las Parcelas Permanentes que se trabajan en las diferentes subregiones.

En segundo lugar, está la *Gestión Forestal Local* con un 15.98 %; por contrario, en las áreas temáticas de *Dendroenergía* y *Política y Legislación Forestal*, cuenta con 0.30 % de investigación generada, siendo 1 documento por cada área.

1.6.2 Comparación entre el Programa Nacional de Investigación (2015) y el Proyecto de Investigación Forestal (1998)

El *Proyecto de Investigación Forestal*, tenía como objetivo principal contribuir con el desarrollo sostenible del país mediante la generación, adaptación, aplicación y divulgación de información relacionada a ecosistemas forestales y otros vinculados al mismo. Por lo que, se formuló una serie de áreas, subáreas y líneas, que en general se consideraban necesarias para el logro de la sostenibilidad del recurso forestal. El documento contemplaba 13 áreas temáticas, 22 subáreas y 144 líneas de investigación.

A continuación, se presentan en el cuadro 1, las áreas temáticas con las que trabajaba el *Proyecto de Investigación Forestal*.

Cuadro 1. Áreas que contemplaba el Proyecto Nacional de Investigación.

ÁREAS
Manejo y Silvicultura de Bosques Naturales
Manejo y Silvicultura de Plantaciones
Tecnología de Producción de Plantas
Industrialización y Comercialización Forestal
Mejoramiento Genético y Conservación Forestal
Manejo y Conservación de Suelos y Agua
Manejo de Áreas Protegidas
Valoración Económico-Financiera Forestal
Sistemas Agroforestales
Política Forestal
Legislación Forestal
Sistemas de Información Geográfica
Extensión y Transferencia Forestal

Al ser publicado el *Programa Nacional de Investigación Forestal*, quedó descartado el *Proyecto de Investigación Forestal* para fines de guiar la investigación en el sector forestal del país.

El *Programa Nacional de Investigación Forestal*, se crea con el fin de contribuir al desarrollo y ordenamiento de la investigación forestal nacional mediante la implementación de actividades de investigación, que permitan abordar y resolver problemas y vacíos en el ámbito forestal; por lo que se estableció y priorizó once áreas temáticas, esto como herramienta orientadora de investigación forestal a nivel nacional. Así mismo, cada área temática, tiene sus líneas generales de investigación (siendo un total de treinta y siete) que pueden o no ser aplicables.

En el cuadro 2, se presenta el número de investigaciones realizadas desde 1998 al 2017.

Cuadro 2. Investigaciones realizadas desde 1998 al 2017.

AÑO	INVESTIGACIONES	%
1998	5	1.48
1999	27	7.99
2000	26	7.69
2001	24	7.10
2002	16	4.73
2003	33	9.76
2004	36	10.65
2005	11	3.25
2006	44	13.02
2007	26	7.69
2008	18	5.33
2009	10	2.96
2012	1	0.30
2013	3	0.89
2014	17	5.03
2015	18	5.33
2016	12	3.55
2017	11	3.25

Desde 1998 al 2017 se han generado 338 investigaciones en las diferentes áreas temáticas, concentrándose en el año 2006 el 13.02 % de información. Donde, en los años 2010 y 2011 no hubo investigación alguna, y en el 2012, 2013 y 1998 son los años que menor investigación realizada, tendiendo valores de 0.30 %, 0.89 % y 1.48 % correspondientemente.

En la figura 4, se presenta una gráfica donde se ilustra el porcentaje de investigaciones realizadas, según el año.

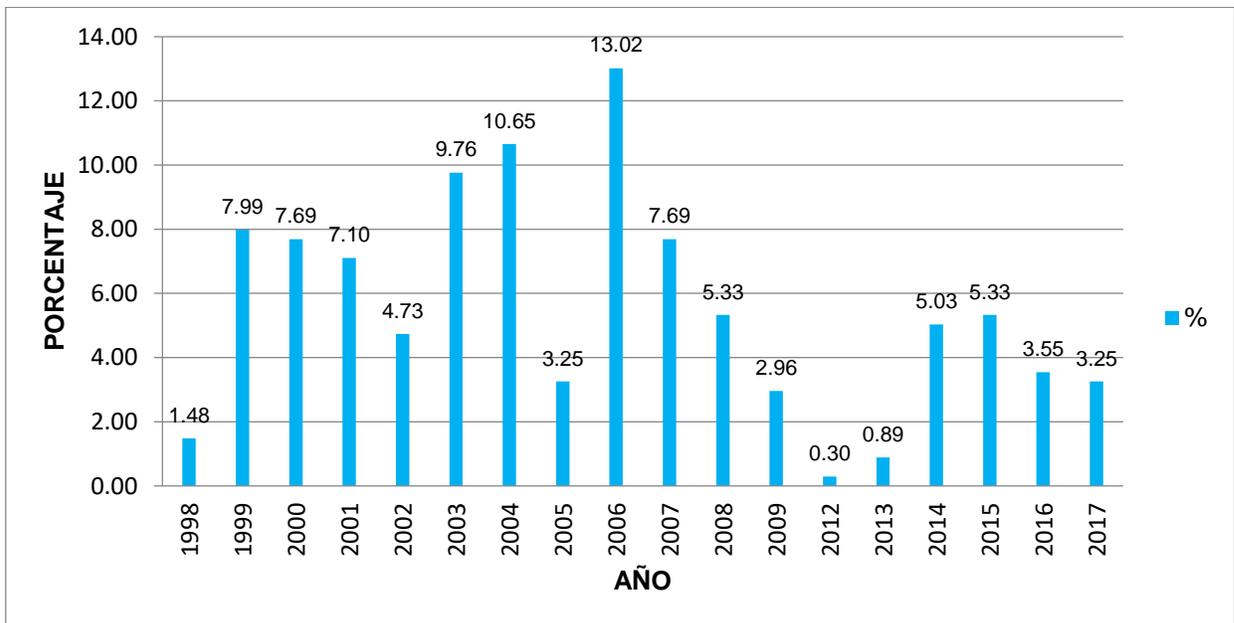


Figura 4. Porcentaje de investigaciones según año.

Durante los siete años que se guió la investigación forestal de acuerdo al *Proyecto de Investigación Forestal*, ninguna de las 297 investigaciones realizadas en ese período de tiempo, entraban entre las áreas temáticas de Manejo de Áreas Protegidas, Sistemas Agroforestales, Legislación Forestal, Sistemas de Información Geográfica y Extensión y Transferencia Forestal; por otra parte, el *Programa de Investigación Forestal* ha cubierto todas sus áreas temáticas en 334 de 338 investigaciones generadas, donde se cuenta

únicamente con 1 investigación en las áreas de Dendroenergía y Política y Legislación Forestal.

1.6.3 Análisis FODA

En el cuadro 3, se presentan las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), del Departamento de Investigación.

Cuadro 3. Matriz FODA.

	POSITIVOS	NEGATIVOS
	FORTALEZAS	DEBILIDADES
INTERNOS	Mapa interactivo para la consulta de las PPMF	Personal técnico limitado
	Sistema para post procesos de la información de las PPMF	
	Comunicación con Regiones y Subregiones	
	Apoyo internacional para la transferencia de información y tecnología de las PPMF	
	Metodología para el establecimiento de las PPMF	Demasiada información de las PPMF sin ser analizada
	La institución sobresale en la investigación forestal	
	Compromiso por parte del DIF	
	Información continua de las PPMF, desde hace quince años	
	Existe un Programa Nacional de Investigación Forestal, que fue realizado de forma participativa y multisectorial	Falta de recursos para el análisis de la información de las PPMF, y para realizar investigación
	El PNIF fue socializado para el sector privado, público y academia	
	Existencia de investigaciones desde 1998	
	Acceso a la información desde la página web del INAB	

Continuación cuadro 3.

	POSITIVOS	NEGATIVOS
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
EXTERNOS	Generar análisis de la información para estudios y tecnologías para manejo y aprovechamiento de los bosques	Pérdida física a través del tiempo de las Parcelas Permanentes de Medición Forestal
	Fortalecimiento de las PPMF y PNIF mediante alianzas	Desinterés de la cooperación para la investigación forestal en un área definida
	Institución con credibilidad a nivel nacional	Falta de monitoreo por la finalización de convenios
	Gestión de fondos para el análisis de información de PPMF y ejecución del PNIF	La información de las PPMF depende de las remediciones de usuarios o subregiones

Como se puede observar en el cuadro 3, en la matriz FODA, se identificaron los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) del Departamento de Investigación Forestal, esto para realizar un análisis integrado de éstos.

Principalmente, se identifica la parte del éxito del DIF, el cual está concentrado en las fortalezas más las oportunidades, lo cual cabe resaltar que tiene una amplia área de éxito para la realización de las funciones y actividades del departamento.

Por otra parte, como riesgos percibidos para el departamento, está contemplado en las debilidades y amenazas, por lo que se debe ir trabajando en la adaptación y aprovechamiento del DIF en los factores internos y externos.

Para que exista una adaptación, se deben equilibrar y compensar las oportunidades con las debilidades. Es decir, que el DIF que una de sus actividades principales se deriva de las PPMF, por lo que se concentra demasiada información sin ser analizada debido a la falta de recursos, lo cual se puede favorecer con gestión de fondos para el análisis, para fortalecer la información de las PPMF.

Por último, hay que aprovechar la comunicación con Regiones y Subregiones, para promover el compromiso por el monitoreo de las PPMF; así mismo, que la realización de las actividades establecidas sea constante, para que no exista un desinterés de parte de la cooperación para investigación y la pérdida física de las PPMF.

1.7 CONCLUSIONES

- El Departamento de Investigación es el generador de investigación a nivel nacional del sector forestal, al cual se abocan los demás departamentos del INAB para realizar investigación; por lo que el DIF debe de trabajar en sus amenazas y debilidades, apoyándose de sus fortalezas y oportunidades para garantizar el éxito de sus actividades; en donde principalmente se puede trabajar con las Parcelas Permanentes de Medición Forestal, debido a que es una de las actividades principales del departamento va enfocada en las parcelas; siendo éstas la digitalización de la información ya existente en boletas, monitoreo de información y de las subregiones en las remediciones con datos congruentes.
- El Programa Nacional de Investigación Forestal es más generalizado y concreto, de acuerdo a sus áreas temáticas y líneas de investigación; a diferencia del Proyecto de Investigación Forestal, el cual contaba con más áreas y líneas de investigación, las cuales eran redundantes, y poco efectivas para la clasificación de información, debido a que durante los siete años que se guió la investigación forestal, de las 297 investigaciones generadas en ese lapso de tiempo, ninguna cubre las áreas de Manejo de Áreas Protegidas, Sistemas Agroforestales, Legislación Forestal, Sistemas de Información Geográfica y Extensión y Transferencia Forestal, así mismo, existen 41 documentos que no se encuentran clasificados entre las áreas.
- De las 338 investigaciones generadas desde 1998 al 2017, el Programa Nacional de Investigación Forestal ha abarcado todas sus áreas temáticas con 334 documentos, siendo el área de Manejo y Protección Forestal la que posee más información (52.96 %); por lo contrario, las áreas de Política y Legislación Forestal y Dendroenergía únicamente cuentan con el 0.30 %.

1.8 RECOMENDACIONES

1. Incorporar entre el personal del Departamento de Investigación Forestal del INAB, por lo menos a una persona para el análisis de las Parcelas Permanente de Remedición Forestal.

1.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Congreso de la República de Guatemala. 1991. Decreto 63-91: Ley de promoción del desarrollo científico y tecnológico nacional. Diario de Centroamérica, Guatemala, septiembre 16:361-362. Disponible en https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/1152
2. _____. 1996. Decreto 101-96: Ley forestal. Diario de Centroamérica, Guatemala, diciembre 4:1129-1136. Disponible en https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/906
3. Donado Torres, LC; Barrios Chicas, BO. 1998. Propuesta para el sistema nacional de investigación forestal. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 84 p.
4. García Arias, AL. 2014. Diagnóstico de la información concentrada en el Instituto Nacional de Bosques de parcelas permanentes de medición forestal en bosque natural de coníferas en Guatemala, C.A. Informe EPSa. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 22 p. Disponible en http://170.239.56.103/Documentos/Investigacion/Informes_oimt/DIAGNOSTICO_DE_LAS_PPMF_ASTRID_GARCIA.pdf.
5. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2015. Programa nacional de investigación forestal. Santa Cruz, RÁ; Ramírez, R (eds.). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Departamento de Investigación Forestal, Dirección de Desarrollo Forestal. 68 p. Disponible en 170.239.56.106/inab/images/investigacion/programa_nacional_investigacion_forestal_inab.pdf%0D
6. _____. 2017. Manual de perfiles y descripción de puestos del Instituto Nacional de Bosques -INAB-. Guatemala. Consultado 5 mayo 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/document/378436073/MANUAL-DE-PERFILES-Y-DESCRIPCION-DE-PUESTOS-DEL-INAB-pdf>
7. _____. 2018. Organigrama INAB. Guatemala. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <http://www.inab.gob.gt/>
8. Marmillod, D. 2012. La red de parcelas permanentes de medición forestal en plantaciones, bosque natural latifoliado y de coníferas en Guatemala: Diagnóstico del estado actual. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE-. 49 p. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8668/La_red_de_parcelas_permanentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

9. Morán Torres, JL. 2017. Diagnóstico de la situación actual del Departamento de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques -INAB-. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 15 p. (sin publicar).



Rolando Barrios

1.10 ANEXOS

En el cuadro 4A, se presentan las áreas, subáreas y líneas priorizadas en el Proyecto de Investigación Forestal del 1998.

Cuadro 4A. Áreas, subáreas y líneas priorizadas en el Proyecto de Investigación Forestal del 1998.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS
MANEJO Y SILVICULTURA DE BOSQUES NATURALES	Evaluación cualitativa y cuantitativa de masas forestales	Calidad e índices de sitio
		Estudios de crecimiento y rendimiento
		Estudios ecológicos de las diferentes especies identificadas
		Actualización periódica de las existencias de masas forestales
		Manejo de ecosistemas especiales (humedales)
		Determinación de ciclos de corta
		Bases para el establecimiento de la regeneración natural
		Rendimientos de transformación de productos y subproductos forestales
		Metodologías para la evaluación del impacto del aprovechamiento sobre el ecosistema
		Evaluación de especies nativas con potencial para reforestación
		Metodologías de inventario apropiadas para productos no maderables
	Tratamientos silviculturales	Evaluación de respuesta a diferentes intensidades, tipos y época de aplicación de raleos y podas
		Optimización, evaluación y manejo de regeneración natural
		Manejo de árboles semilleros
		Técnicas de manejo de ecosistemas especiales (humedales)
		Cantidad de carbono fijado por determinado tipo de cobertura arbórea
	Protección de bosques naturales	Estudios para la prevención, técnicas, alternativas y combate de incendios forestales
		Estudios de patología forestal
		Generación y adaptación de estrategias de desarrollo sostenible
		Evaluación de la sostenibilidad de los planes de manejo forestal (metodologías para el establecimiento de indicadores, selección, definición, tipos, entre otros.)
		Inventario de especies forestales amenazadas
		Criterios para el mejoramiento y evaluación de sistemas de corta, extracción y transporte de productos maderables

Continuación cuadro 4A.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS	
MANEJO Y SILVICULTURA DE PLANTACIONES	Establecimiento y evaluación de masas forestales para producción	Preparación de sitio y establecimiento de plantaciones	
		Estudios de crecimiento y rendimiento	
		Calidad e índices de sitio	
		Actualización periódica de las existencias de masas forestales	
		Determinación de ciclos de corta	
		Rendimientos de transformación de productos y subproductos forestales	
		Metodologías para la evaluación del impacto del aprovechamiento sobre el ecosistema	
		Evaluación de especies nativas con potencial para reforestación	
		Evaluación de especies y plantaciones forestales con potencial de producción (maderable, energética y otros)	
	Tratamientos silviculturales	Evaluación de respuesta a diferentes intensidades, tipos y época de aplicación de raleos y podas	
		Manejo de fuentes semilleras (rodales y árboles semilleros)	
		Cantidad de carbono fijado de acuerdo a edad y tipo de masa boscosa	
	Protección de plantaciones forestales	Métodos para la prevención, técnicas alternativas y combate de incendios forestales	
		Estudios de identificación, biología, ecología y manejo integrado de plagas forestales	
		Estudios de patología forestal	
		Generación y adaptación de estrategias de desarrollo sostenible para comunidades cercanas a las plantaciones	
		Evaluación de la sostenibilidad de los planes de manejo forestal (metodologías para el establecimiento de indicadores, selección, definición, tipos, entre otros.)	
	TÉCNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS	Técnicas de producción de plantas en vivero	Evaluación de sustratos, recipientes, fertilización, entre otros.
			Métodos de propagación vegetativa
Evaluación de enraizadores, hormonas y micorrizas			
Tecnología de semillas forestales		Rendimiento y costos de la producción de semillas forestales	
		Rendimiento y costos del beneficiado de semillas forestales	
		Procesos de beneficiado	
		Almacenamiento	
		Condiciones óptimas de germinación	
Biotecnología		Manejo de semillas recalcitrantes	
		Propagación in vitro de especies forestales	
			Cultivo de tejidos

Continuación cuadro 4A.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS
INDUSTRIALIZACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN FORESTAL	Aprovechamiento y transformación forestal	Estudios sobre eficiencia de los procesos de aprovechamiento y transformación sostenible de productos forestales (maderables, no maderables y farmacéuticos)
		Transformación de trozas de diámetros menores
		Aprovechamiento e industrialización de productos químicos extraídos de materiales forestales
		Estudios sobre características fiscomecánicas y anatómicas de especies con potencial industrial
		Estudios para el desarrollo industrial de maderas y de residuos forestales
	Mercadeo y comercialización forestal	Estudios de mercado y comercialización de productos forestales (nacional e internacional)
		Exploración y creación de demanda para los productos forestales
		Estudios para aumentar el valor agregado de los productos forestales
		Criterios para la determinación de controles de calidad de los productos forestales
		Monitoreo de precios (apoyo al movimiento de mercado)
MEJORAMIENTO GENÉTICO Y CONSERVACIÓN FORESTAL	Identificación de fuentes semilleras	
	Ensayos de procedencias	
	Establecimiento de huertos semilleros	
	Establecimiento de huertos clonales	
	Estudios fenológicos y de biología reproductiva	
	Técnicas de mejora genética de especies de interés	
	Técnicas de conservación de germoplasma	
	Estudios de fragmentación forestal	
	Estudios de variabilidad genética de poblaciones	
MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA	Suelos	Caracterización y clasificación de suelos forestales
		Adaptación y generación de análisis de suelos aplicables a regiones forestales
		Determinación de especies, sistemas forestales y manejo adecuado para la protección y recuperación de suelos
		Impacto y monitoreo sobre el suelo producido por diversas técnicas de manejo forestal
		Técnicas de recuperación de suelos degradados (determinación, evaluación y validación)
	Agua	Estudios de capacidad, cantidad y calidad de producción de agua de diferentes ecosistemas forestales
		Determinación y priorización de zonas de recarga hídrica
		Determinación de especies, sistemas forestales y manejo adecuado para la protección y recuperación del régimen hídrico
		Impacto sobre el régimen hídrico causado por diversas técnicas de manejo de cobertura
		Impacto sobre el régimen hídrico causado por deforestación e incendios forestales

Continuación cuadro 4A.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS
MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS	Aspectos ecológicos	Criterios para los establecimientos de límites de zonas núcleo, de uso múltiple y amortiguamiento
		Inventario y dinámica poblacional de especies
		Identificación y cuantificación de agentes negativos (contaminación, visitantes, entre otros.)
		Criterios para la determinación del estado de conservación de masas boscosas
		Manejo integrado de recursos y opciones de manejo sostenido en zonas de uso múltiple y de amortiguamiento
		Técnicas de restauración y monitoreo de ecosistemas forestales degradados
		Impacto de la fragmentación forestal sobre ecosistemas forestales
		Impacto sobre las especies arbóreas debido a la pérdida de polinizadores
		Impacto sobre los ecosistemas debido a diferentes actividades silviculturales
		Estudios de ecosistemas especiales
	Aspectos económico-financieros y sociales	Determinación del potencial económico de las áreas protegidas
		Determinación de las funciones de producción y servicio
		Sistemas de autofinanciamiento (ecoturismo, aprovechamiento forestal sostenido, agua, entre otros.)
		Generación y adaptación de estrategias de desarrollo sostenible (con énfasis en comunidades cercanas a las áreas protegidas)
		Determinación de la capacidad de carga para ecoturismo
		Determinación de intereses y comportamiento de turistas
		Impacto sobre ecosistemas por actividades turísticas
	VALORACIÓN ECONÓMICO-FINANCIERA FORESTAL	Captura de carbono
		Capacidad de captura de carbono de diferentes ecosistemas
Potencialidad de producción de oxígeno de los bosques		
Costos y rendimientos de la planificación y ejecución del manejo forestal		
Generación, aplicación y evaluación técnico-financiera de los tratamientos de la nación		
Mecanismos para la incorporación de recursos forestales en las cuentas de la nación		
Evaluación del aporte económico del sector forestal al producto interno bruto de la nación		
Mecanismos para la determinación del valor integral del bosque		
Estudios de beneficio económico relacionados a actividades como recreación, paisajes, entre otros.		
Estudios de voluntad de pago del sector privado para la protección de áreas protegidas y bosques por servicios ambientales		
Programas crediticios		

Continuación cuadro 4A.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS
SISTEMAS AGROFORESTALES		Caracterización y evaluación de sistemas agroforestales
		Técnicas de manejo (modalidades aplicables en Guatemala)
		Criterios ecológicos para su establecimiento
		Fijación de carbono por diferentes sistemas agroforestales
		Rendimientos maderables y rentabilidad
		Rotación de cultivos y árboles
		Estudios comparativos de las relaciones beneficio-coste de sistemas agroforestales y tradicionales
POLÍTICA FORESTAL	Planeación de políticas	Identificación y aplicación de criterios técnico-científicos (ecológicos, económicos y sociales) para la formulación de políticas
		Criterios para la promoción de la participación de las comunidades y otros actores en actividades forestales
		Criterios para la ejecución de políticas (estrategias)
		Monitoreo de la eficiencia de las políticas
	Políticas de promoción	Estudios sobre fuentes innovativas de financiamiento para manejo de recursos
		Criterios para la generación, adaptación y evaluación de incentivos forestales (fiscales, crediticios, industriales y de comercio) para el desarrollo y conservación forestal
		Criterios para la valoración de bienes y servicios tangibles e intangibles de los bosques
	Políticas regulatorias	Estudios sobre factores limitantes (y su eliminación para la producción y transformación forestal)
	Aspectos económico-financieros e impositivos	Estudios de crédito sobre la banca nacional y el sector forestal (créditos blandos)
		Impacto de las políticas forestales en la economía nacional (macro y microeconomía)
		Evaluación de los impuestos relacionados con actividades forestales
	Otras políticas	Impacto de la globalización en el sector forestal del país
		Influencia de políticas no forestales sobre los bosques y la gente que depende de ellos

Continuación cuadro 4A.

ÁREAS	SUBÁREAS	LÍNEAS
LEGISLACIÓN FORESTAL	Aspectos generales	Estudios legales para incentivar y facilitar la participación de todos los sectores productivos y de conservación
		Estudios de evaluación de impacto de leyes forestales
		Análisis de la aplicación de leyes más severas para la conservación de los bosques y la búsqueda de la aplicación de la ley y las sanciones en forma efectiva a los infractores
		Estudio técnico preparatorio de la ley de aprovechamiento de árboles de mangle
		Estudio preparatorio para solicitar ley que prohíba la utilización de fuego (rozas) como medida cultural de preparación agrícola
	Ley forestal, Decreto Legislativo número 101-96	Preparación de documentos técnico jurídico que sirva de base para solicitar la modificación del Artículo 3, en cuanto al aprovechamiento de tierras nacionales ya dadas en usufructo pro el usufructuario
		Problemática e incentivos legales para el desarrollo y conservación forestal
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA		Monitoreo de cobertura forestal
		Determinación de zonas críticas para protección forestal
		Monitoreo de áreas protegidas en su dinámica natural, social y económica
		Monitoreo de incendios forestales
EXTENSIÓN Y TRANSFERENCIA FORESTAL		Evaluación de la extensión forestal tradicional (sistemas, agencias, entre otros.)
		Estudios de optimización de la extensión forestal
		Optimización de sistemas de transferencia (procedimientos, extensionistas, investigadores, usuarios, entre otros.)
		Evaluación del impacto de los modelos de transferencia
		Criterios para incentivar a la población meta en actividades forestales
		Adopción de tecnologías de desarrollo

Fuente: Elaboración propia, mediante el documento de Proyecto de Investigación Forestal, 1998.

A continuación, en el cuadro 5A, se presenta cada área temática y sus correspondientes líneas de investigación que fueron priorizadas para el Programa Nacional de Investigación Forestal.

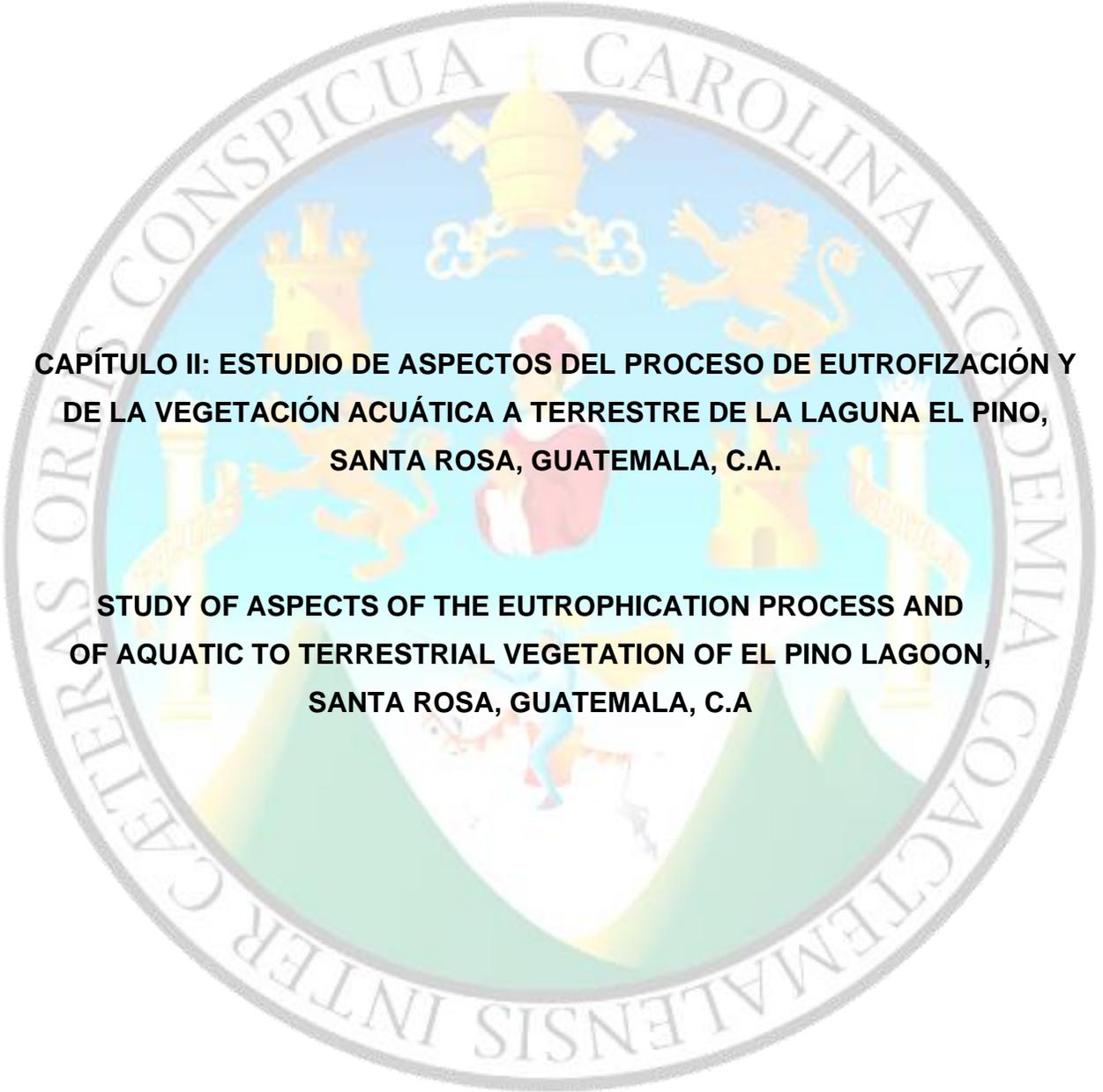
Cuadro 5A. Área temática y sus correspondientes líneas de investigación del Programa Nacional de Investigación Forestal.

ÁREA TEMÁTICA	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Recursos Genéticos	Mejoramiento genético
	Conservación (<i>in situ</i> , <i>ex situ</i>) de germoplasma de especies nativas forestales
	Fuentes semilleras y producción de plantas
Manejo y Protección Forestal	Manejo silvicultural de bosques naturales, plantaciones y sistemas agroforestales
	Dinámica de crecimiento y productividad forestal en bosque natural y plantaciones
	Manejo forestal sostenible
	Manejo integrado de plagas y enfermedades forestales
	Manejo integrado del fuego
Dendroenergía	Determinación y establecimiento de especies forestales energéticas
	Consumo y comercialización de especies forestales energéticas
	Desarrollo de tecnologías de transformación
Cambio Climático	Mitigación
	Adaptación
Funcionalidad Ecosistémica	Valoración de bienes y servicios ecosistémicos
	Desarrollo de mecanismos de pago por servicios ambientales
	Manejo integrado de suelos
	Manejo integrado de cuencas e hidrología forestal
	Restauración del paisaje
Diversidad Biológica y Ecosistemas	Manejo y conservación de la biodiversidad biológica asociada
	Plantaciones forestales y diversidad biológica
Industria y Comercio Forestal	Industrialización forestal
	Mercado de productos forestales
	Mercado y comercialización forestal
Tenencia y Ordenamiento del Territorio	Cambio de uso de la tierra
	Crecimiento demográfico y su impacto al recurso forestal
	Gobernanza forestal
Economía Forestal	Caracterización económica de la actividad forestal
	Mecanismos financieros forestales
	Rentabilidad económica
Política y Legislación Forestal	Normativas e instrumentos de política forestal
	Política forestal local
	Sanciones forestales

Continuación cuadro 5A.

ÁREA TEMÁTICA	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Gestión Forestal Local	Extensión forestal
	Cosmovisión y pueblos indígenas
	Forestería comunitaria
	Sistemas agroforestales
	Conflictividad social en el manejo forestal

Fuente: Elaboración propia, mediante el INAB, 2015.

The seal of the University of the Pacific, Costa Rica, is a circular emblem. It features a central shield with a blue background and a white base. The shield is supported by two golden lions. Above the shield is a golden crown. The shield is set against a light blue background. The entire seal is surrounded by a grey border containing the Latin motto "CETERAS ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACCADEMIA COACTEMALENSIS INTER" in white capital letters.

CAPÍTULO II: ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

STUDY OF ASPECTS OF THE EUTROPHICATION PROCESS AND OF AQUATIC TO TERRESTRIAL VEGETATION OF EL PINO LAGOON, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A

2.1 INTRODUCCIÓN

La Laguna El Pino se encuentra ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz de Naranjo, del departamento de Santa Rosa, se declaró área protegida bajo la categoría de Parque Nacional el 26 de mayo de 1955 (Palacio Nacional 1995), está administrada en la actualidad por el Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Uno de los principales atractivos del parque, es la laguna, en donde se llevan a cabo actividades de pesca y caracoleo; siendo el cuerpo de agua visto con una potencialidad recreativa y de conservación. El inadecuado manejo del parque, debido a los convenios de coadministración entre el Instituto Nacional de Bosques (INAB), Asociación de Caficultores de Oriente de Guatemala (ACOGUA), y el Comité de Conservación y Manejo del Parque (Peralta 2018), han llevado a perder el enfoque principal inicial del área como Parque Nacional, pues se ha dado énfasis a la recreación, comercialización y préstamo de servicios y se ha descuidado los aspectos de conservación, como lo exige la categoría a la que pertenece.

Dando como resultado, el deterioro de la laguna y sus alrededores, principalmente en la calidad de agua de la laguna, donde a través de los años se han incrementado las poblaciones de plantas acuáticas y macrófitas acuáticas, las cuales se han extendido a lo largo y ancho del cuerpo de agua, tal crecimiento, se le atribuye al enriquecimiento nutritivo, producto de acciones antropogénicas, siendo las principales, proliferación de botaderos de residuos sólidos clandestinos, lixiviación de nutrientes provenientes de la agricultura y descarga de drenajes de viviendas y residencias ubicadas en sus orillas (López 2018, Peralta 2018, Ramírez 2018).

Por varias circunstancias, hay evidente contaminación de su cuerpo de agua y con el transcurso de los años, la profundidad de la laguna ha disminuido, así como su extensión, por lo que se teme la pérdida total del cuerpo de agua de manera acelerada. Se carece de manejo, para evitar su eutrofización; atribuyendo esto a la deficiencia en la administración del parque de parte del INAB. En los primeros meses del año 2018 la institución ha decidido dedicar más tiempo y personal para procurar mitigar el proceso y procurar su conservación y mantenimiento (López 2018), así mismo, recategorizar su estatus de área

protegida, con el fin de que parte de las actividades sean económicas con beneficios para las comunidades humanas de los alrededores.

La eutrofización es un proceso natural, que por las actividades antrópicas se torna en un problema ambiental, que está acelerando el enriquecimiento nutritivo de muchos ecosistemas acuáticos del país, consecuencia del exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo; modificando tanto la calidad de aguas, como la estructura de las comunidades biológicas. Como consecuencia, hay un crecimiento de vegetación, y organismos que reducen el oxígeno en el agua, afectando a los diversos organismos.

Así mismo, cuando las plantas acuáticas mueren y son descompuestas provocan un aumento en el contenido de materia orgánica en el agua, a esto se añade la sedimentación de suelo erosionado que llega de los alrededores del cuerpo de agua, éstas se pueden mencionar como las principales causas de la disminución de la profundidad de la laguna. Las orillas van dando paso del fango a suelo, facilitando la colonización y desarrollo de plantas terrestres, lo que trae consigo el desarrollo de la vegetación acuática y terrestre.

Cabe agregar, que la eutrofización no es una situación exclusiva de este cuerpo de agua, hay varios ejemplos en el país, como en el lago de Amatitlán, laguna de Lemoa, lago de Atitlán y otros, así mismo, hay en otras partes del mundo; en todos ellos el inadecuado manejo de bosques y el cambio del uso del suelo se presentan como los principales factores a los que se le atribuye el deterioro de los cuerpos de agua (Martínez 2018), favoreciendo directamente a las comunidades de plantas hidrófitas, en particular a las enraizadas sumergidas, al reducir la profundidad del nivel eufótico (zona de penetración de la luz en el agua) por la llegada de sedimentos al cuerpo lacustre; lo que también tiene un fuerte impacto visual. Lo importante es como enfrentar este problema y se conoce de varios ejemplos donde se han tomado las medidas de conservación y manejo necesarias para mitigar el proceso de eutrofización acelerada.

Este estudio fue de carácter exploratorio y para generar información del parque, se espera que permita proporcionar elementos al INAB para la conservación de la laguna El Pino. Es

importante proponer medidas que permitan ayudar a tomar decisiones en cuanto a manejo para mitigar esta situación, por lo que: a) la ubicación de las fuentes de contaminación por acciones humanas; b) el estudio de la vegetación acuática a terrestre a orillas del cuerpo de agua; y c) la determinación del estado trófico, permiten proporcionar elementos para la mitigación de esta situación.

El estudio permitirá identificar los principales factores por los que se pierde la profundidad de la laguna, así mismo, para continuar generando investigación en la misma línea, proporcionar recomendaciones para la conservación y manejo, por último, para ayudar en la toma de decisiones correspondientes de las autoridades responsables de su administración.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Eutrofización

La eutrofización o eutroficación significa literalmente “el proceso de la buena nutrición”. Pero, en relación con cuerpos de agua, es un fenómeno que hace que las aguas de un embalse pasen a ser claras y transparentes, a ser verdes e infestadas de vegetación, esto como consecuencia del enriquecimiento de aguas superficiales con nutrientes, la cual se produce en forma natural, pero puede ser acelerado por la intervención del hombre (Montoro 2009, Moreno *et al.* 2010, Parra 1989).

La eutrofización como proceso de origen antrópico, da como resultado el crecimiento perjudicial de plantas acuáticas, tales como algas y macrófitas; así mismo, la calidad del agua se va deteriorando, añadiendo mayores cantidades de nutrientes que son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y materia orgánica (MO); lo cual aumenta la concentración de nutrientes de los sistemas acuáticos, pero limita el oxígeno. Este proceso se produce naturalmente en todo lago o laguna, cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos (Montoro 2009, Moreno *et al.* 2010, Parra 1989).

Se caracterizan por ser poco profundos, disminuir el oxígeno y sufrir de altas tasas de cargas de nutrientes, los cuerpos de agua eutróficos e hipertróficos. La asociación de fósforo con sedimentos es un grave problema para la restauración de lagos enriquecidos y poco profundos; debido a que las partículas enriquecidas con P se depositan en el fondo del embalse y forman una abundante reserva de nutrientes en los sedimentos, a la que pueden acceder las plantas enraizadas y que se descarga desde los sedimentos en condiciones de anoxia a la columna de agua superior, donde es rápidamente utilizada por las algas (Moreno *et al.* 2010).

A. Proceso de eutrofización

Primero, este enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. Con la desaparición de la vegetación acuática sumergida, es evidente que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD) de la

fotosíntesis. Pero la pérdida de OD se agrava por la siguiente razón: el fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno, como todas las plantas verdes. El fitoplancton muerto se asienta y produce en el fondo depósitos espesos de detritos (Moreno *et al.* 2010).

A su vez, la profusión de detritos genera una abundancia de descomponedores, la mayoría bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. El resultado es el agotamiento del recurso con la consiguiente sofocación de peces y crustáceos. Sin embargo, las bacterias aerobias estrictas prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin OD, en tanto que haya detritos que las alimenten. Mientras que las bacterias anaerobias aparecen en el fondo produciendo gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. Además, hay alguna oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que demanda más OD (Moreno *et al.* 2010).

B. Causas de eutrofización

Las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización son:

- Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas residuales, las cuales son ricas en nutrientes, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor.
- El uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato).
- La deforestación y la erosión en suelos agrícolas influyen en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de la misma.
- La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ion nitrato (NO_3^-) e ion sulfato (SO_4^{2-}), que forman sales solubles al alcanzar el suelo con los cationes del mismo, generando un empobrecimiento de dichos iones. Dichas sales son volcadas

fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización (Moreno *et al.* 2010).

C. Efectos del proceso de eutrofización

En los ecosistemas acuáticos eutrofizados, se comienza a dar una alteración de la biota y de la diversidad biológica, provocando una proliferación de algas, cianobacterias y macrófitos en demasía. Estas especies pueden ser más resistentes que los habitantes originales del ecosistema eutrofizado, y así desplazándolos con el paso del tiempo (Moreno *et al.* 2010).

El desarrollo de estos organismos provoca opacidad, impidiendo así que luz logre penetrar hasta regiones profundas de la columna de agua. Las consecuencias directas son la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en lugares cada vez menos profundos de la columna de agua y por lo tanto, disminución en la producción de oxígeno libre; simultáneamente aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los organismos descomponedores, que empiezan a recibir excedentes de materia orgánica generados en la superficie (Moreno *et al.* 2010).

El fondo del ecosistema acuático se va convirtiendo de forma gradual en un ambiente anaerobio, y el consecuente aumento en la concentración de gases como anhídrido sulfuroso (H_2S), metano (CH_4) y anhídrido carbónico (CO_2), haciendo poco factible la vida de la mayoría de las especies que forman dicho ecosistema. Se da por tanto mortandad masiva de biota en general, bioacumulación de sustancias tóxicas, aumentando la sedimentación en los cuerpos de agua, reduciendo la vida útil, proliferando la aparición de organismos patógenos y vectores de enfermedad (Moreno *et al.* 2010).

2.2.2 Sedimentación

La sedimentación según Pérez (2005: 2), se define como “el proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad”. Mediante el agua y el aire se mueve la tierra, arrastrándola al embalse, yendo ésta al fondo, sedimentándose; reduciendo así la profundidad, como parte natural del llenado de la laguna. Sin embargo, la aceleración de este proceso son consecuencias de las actividades antropogénicas que dejan el suelo sin

vegetación por largos períodos de tiempo, como lo es la deforestación, el desarrollo urbanístico, pastoreo y actividades agrícolas cerca de la laguna; tornándose así la tierra vulnerable a la erosión. La sedimentación de los cuerpos de agua y la eutrofización están directamente asociadas (Pérez 2007).

Para los ecosistemas de agua dulce los sedimentos aportan elementos esenciales, mas, información sobre las condiciones de calidad de sedimentos indica que éstos también representan parte de la contaminación de los cuerpos de agua, aportando así una amplia gama de sustancias tóxicas y bioacumulables. Esto es de gran preocupación ambiental, debido a que afectan a la vida acuática, tales como peces, organismos; así mismo, puede ser de riesgo para animales y organismos que consumen del agua y/o presas contaminadas del embalse, volviéndose una cadena y afectando también fuera de la vida acuática. Cabe agregar que los sedimentos contaminados también son un riesgo para la vida humana, esto mediante la exposición directa, o el consumo de mariscos de estas aguas (MacDonald e Ingersoll 2002).

En el cuadro 6, se explica el uso de deterioro de los sedimentos y cómo éstos afectan.

Cuadro 6. Uso potencial de degradación asociado con contaminación de sedimentos.

USO DE DETERIORO	CÓMO AFECTAN LOS SEDIMENTOS CONTAMINADOS
Eutrofización o algas indeseables	Reciclare de nutrientes del fregadero temporal de sedimentos.
Degradación de la estética	Resuspensión de sólidos y aumento de turbidez. Olores asociados a la anoxia.
Costos adicionales para la agricultura o la industria	Sólidos resuspendidos.
	Presencia de sustancias tóxicas y nutrientes.
Degradación del fitoplancton o poblaciones de zooplancton	Liberación de contaminantes tóxicos.
	Resuspensión de sólidos y contaminantes absorbidos y posterior ingestión.
Pérdida de peces y hábitat de vida silvestre	Toxicidad para etapas críticas de la historia de vida.
	Degradación de desoves y viveros por la sedimentación.

Fuente: (MacDonald e Ingersoll 2002: 55).

Una de las actividades que tienen un alto potencial para liberar sustancias peligrosas en el medio ambiente, son las agrícolas, debido a la aplicación de insecticidas, herbicidas, fungicidas y pesticidas para el control de patógenos y plagas (MacDonald e Ingersoll 2002).

2.2.3 Sucesión ecológica

Los ecosistemas tienen procesos naturales que cambian continuamente; estos cambios pueden tardar años, o incluso siglos, avanzando tan despacio, que apenas puede ser perceptible. “Tienen un patrón generado por el ensamble comunitario, que sigue una progresión ordenada conocida como sucesión ecológica, otra de las propiedades emergentes de los ecosistemas” (Marten 2006: 108).

De acuerdo con Granados y López (2000), citado por Martínez (2013), la sucesión ecológica se puede definir como una secuencia de suplantación de diferentes comunidades vegetativas, que representan en el tiempo diferentes ecosistemas cuya composición florística será producto del estado de desarrollo en que se encuentre.

La sucesión ecológica incluye la dinámica de componentes bióticos y abióticos, así también las modificaciones se definen por las variaciones de las influencias climáticas, fisiográficas y antropogénicas (Martínez 2013, Natareno 1981).

Las actividades humanas modifican los ecosistemas para satisfacer sus necesidades. Los cambios intencionales generados por el hombre pueden poner en movimiento cadenas de efectos que conducen nuevos cambios; algunas veces, estos cambios no son intencionados (Marten 2006). Todo esto nos indica que las condiciones modificadas antropogénicamente en el área, pueden favorecer el desarrollo de algunas especies diferentes de aquellas que han predominado hasta entonces en el lugar. Cuando ello ocurre, pronto adquieren preponderancia otras especies diferentes de plantas; éstas pueden ser tanto especies ya presentes en estado de subordinación, o como especies invasoras procedentes de otra área (Natareno 1981).

A. Etapa seral o sere

Se le denomina etapa seral o sere a la sucesión de las comunidades que se constituyen una a otra en una determinada área (de la Llata 2003). Es decir que sere es una serie de etapas genéticamente relacionadas que se suceden regularmente unas con otras; la independencia de la sere se mide por el número, estructura y la duración de las etapas. Todas las seres son progresivas y conducen hacia un clímax.

B. Tipos de sucesión

La sucesión primaria es el proceso que se origina sobre sitios nuevos o en aquellos donde la perturbación es muy fuerte. Por ejemplo, áreas terrestres que quedan al descubierto con el deshielo, deltas de ríos y tierras después de una erupción volcánica fuerte. Por otra parte, la sucesión secundaria es la que se inicia en un área abandonada después de un disturbio, como ejemplos se pueden mencionar, un campo que fue utilizado para agricultura, un área donde ocurrió un incendio o bosques deforestados. La sucesión secundaria es frecuente por la alteración constante que se produce en los ecosistemas, la mayoría de carácter antropogénico (Martínez 2013).

El clímax, es la última etapa de la sucesión. Ésta se caracteriza por la lentitud y la poca drasticidad de los cambios que sufre la comunidad. Al final del proceso, la comunidad presenta una estructura bien desarrollada y alcanza un equilibrio dinámico entre productividad y respiración, con las condiciones ambientales, por lo menos en apariencia (IICA y CATIE 1971).

2.2.4 Sucesión acuática

Al estudiar un ecosistema acuático tal como la laguna, la invasión de vegetación va reduciendo las orillas de ésta. Primero, en la sucesión se establecen los organismos flotantes que constituyen el plancton, el cual se divide en fitoplancton en el que se encuentran las algas, y el zooplancton que incluye animales microscópicos. Con el tiempo, la flora invade el cuerpo de agua y los residuos orgánicos de esta vegetación se sedimentan en el fondo y orillas, funcionando como sustrato para que aumente el número de plantas, resultando así en la reducción de la laguna. De las orillas de los cuerpos de

agua, se desprenden conjuntos de vegetación que se desplazan hacia el lago, donde arraigan y enraízan, construyendo de esta manera islas pequeñas que con el tiempo aumentan su población, que se fusionan con otras comunidades vegetativas, y finalmente con la orilla (Rivera 1984).

La sucesión ecológica acuática enfocándose en lagos se presenta en tres etapas, siendo: laguna, pantano y pradera. Estas etapas se van dando, debido a que la vegetación acuática que rodea el cuerpo de agua da paso a la vegetación terrestre (Rivera 1984).

“El ecosistema acuático puede mantenerse estable por un período largo si existen condiciones físicas poderosas como un fuerte oleaje, o si un cuerpo de agua es lo suficientemente grande y profundo, esto indica que no todas las sucesiones acuáticas dan lugar a suelo firme” (Rivera 1984: 10).

2.2.5 Contaminación en cuerpos de agua dulce

Se considera contaminante a toda materia, sustancia, y sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar con la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición o afecte a la salud humana. También se consideran contaminantes del agua, desechos orgánicos que requieren oxígeno para ser descompuestos por bacterias. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, eliminando así otras formas de vida acuáticas. De allí que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) sea un indicador de contaminación (Reyes 2009).

Sustancias químicas inorgánicas como ácidos, compuestos de metales tóxicos como mercurio y plomo, son contaminantes muy nocivos en el agua. Pero, los nutrientes vegetales que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que posteriormente se mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua también son considerados como contaminantes. Otras sustancias químicas orgánicas como el petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes, amenazan la vida acuática por su toxicidad, los

cuales tienen la capacidad de producir efectos adversos o la muerte sobre un sistema biológico (Reyes 2009).

De manera que aún los sedimentos o materia suspendida que son partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, son una fuente de contaminación importante (Reyes 2009).

A. Sustancias contaminantes del agua

Hay un gran número de contaminantes del agua, que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. De acuerdo con Luis Echarri (1998), en el libro *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, se puede agrupar en los siguientes ocho grupos:

a. Microorganismos patógenos

Son diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis, hepatitis, entre otras enfermedades. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas (Echarri 1998).

b. Desechos orgánicos

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, entre otros. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir, en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas seres que necesiten oxígeno (Echarri 1998).

c. Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo, están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con agua (Echarri 1998).

d. Nutrientes vegetales inorgánicos

Nitrato y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento

desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de los otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable (Echarri 1998).

e. Compuestos orgánicos

Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, entre otros. Éstos acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas, difíciles de degradar por los microorganismos (Echarri 1998).

f. Sedimentos y materiales suspendidos

Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos, y obstruyen canales, ríos y puertos (Echarri 1998).

g. Sustancias radioactivas

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua (Echarri 1998).

h. Contaminación térmica

El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de los ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos (Echarri 1998).

2.2.6 Variables de calidad de agua

En el cuadro 7, se muestran los rangos de los límites máximos permisibles, según su parámetro.

Cuadro 7. Límites máximos permisibles de los parámetros de calidad de agua en embalses.

PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE		FUENTE
pH	u pH	6.5	8.5	(EPA 1986)
Temperatura	°C	29.4	32.2	(EPA 1986)
DBO	mg/L	10	30	(MARN 2011, Pérez 2007)
DQO	mg/L	60		(MARN 2011)
Sólidos suspendidos	mg/L	10	40	(MARN 2011, Pérez 2007)
Sólidos sedimentables	mg/L	250		(Martínez 2006)
Sólidos totales	mg/L	1,000	5,000	(Pérez 2007)
Nitrógeno total	mg/L	0.350	0.660	(Pérez <i>et al.</i> 2003)
Fósforo total	mg/L	0.020	0.100	(Pérez <i>et al.</i> 2003)
Grasas y aceites	mg/L	10		(MARN 2011)
Color	Pt-Co	5	10	(Pérez 2007)

Fuente: elaboración propia, 2019.

A. El color

Es uno de los parámetros físicos de calidad del agua; cuando se habla de éste, se refiere a la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Ciertos colores en aguas naturales son indicativos de presencia de un determinado contaminante, tales como el amarillo, puede presentar los ácidos húmicos de materiales orgánicos; el color rojo, denota presencia de hierro; y el color negro de manganeso (Rigola 1989).

Cabe agregar que las medidas de color que se realizan en laboratorios normalmente por comparación con un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto, Cl_2Co , y cloroplatinato de potasio, Cl_6PtK_2 , y se expresa en una escala de unidades de Pt-Co (unidades de Hazen) (Rigola 1989). Se presenta en unidades de Pt-Co, debido a que a las soluciones de platino, se les agrega generalmente una pequeña cantidad de cobalto, con el objetivo de que el color platino se intensifique (Deloya 2006).

B. Temperatura del agua

La energía lumínica de la luz solar es la principal fuente de temperatura, donde ésta depende directamente del medio ambiente el cual está determinado por el clima y la velocidad del viento. Un aumento drástico de temperatura acelera el agotamiento de oxígeno en el agua, por escape físico del gas y por un mayor gasto en los procesos de descomposición de la materia orgánica y respiración. Así también, se pueden incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos no propios del ecosistema, agilizando así los procesos de eutrofización (CORTOLIMA s. f., Reyes 2009).

C. La conductividad eléctrica o conductividad

Es la medida de la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad. “La conductividad es producida por los electrolitos disueltos en agua y en ella influyen: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de gases” (Marín Galvín 2010: 6).

El agua no es un conductor de electricidad, sin embargo, el agua contiene iones (resultado de moléculas que se disuelven como la sal de mesa) que harán que se conduzca la electricidad. Estos iones son los que aumentan la conductividad del agua. Es decir, toda vez sea alta la conductividad, es porque hay una gran concentración de iones disueltos en el agua (Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua 2011).

La conductividad en cuerpos de agua tiene varias aplicaciones, donde la evaluación de las variaciones de concentración de minerales disueltos sea la más importante (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A 2012).

D. Concentración de oxígeno disuelto

Este gas es uno de los más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis, su difusión dentro de un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por vientos (Reyes 2009).

E. Concentración de iones hidrogeno, pH

Es una medida de la acidez o basicidad de una solución; es la concentración de iones o cationes hidrógeno [H⁺] presentes en determinada sustancia (Reyes 2009). De 6.50 upH a 8.00 upH es el intervalo de pH adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática, fuera de dicho rango se disminuye la diversidad por estrés fisiológico, así también, la reproducción. El pH afecta el grado de disociación de ácidos y bases, este efecto es importante debido a que la toxicidad de muchos compuestos es afectada por éste (CORTOLIMA s. f.). Los valores de pH varían de acuerdo a la temperatura en la que se toma la medición (Rigola 1989).

El pH se mide de 0 a 14, donde un valor 0 es extremadamente ácido, mientras que un valor de 14 es extremadamente básico o alcalino. Cada punto en la escala de pH representa un cambio de 10 veces su valor, respecto al punto anterior; es decir, que un agua con pH 6 tiene una concentración de iones de hidrógeno 10 veces mayor que un agua que tenga un pH de 7 (Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua 2011).

F. Fósforo total

La determinación de su concentración permite conocer el potencial energético-bioquímica del ecosistema para su mantenimiento equilibrado o para sugerir el posible impacto a corto plazo en condiciones de eutrofización. El fósforo está presente en todos los organismos vivos en los ácidos nucleicos de sus células a parte de una gran gama de compuestos bioquímicos responsables de los procesos energéticos (Reyes 2009). Para que un cuerpo de agua pueda ser clasificado como eutrófico, debe estar en el rango de concentración de 20 mg/L a 100 mg/L (Pérez 2007).

En el cuadro 8, se muestra que según Calderón y Vinicio (1997), el estado trófico de acuerdo con la concentración de fósforo total (mg/L).

Cuadro 8. Concentración de fósforo total con relación al estado trófico de los cuerpos de agua.

ESTADO TRÓFICO	FOSFORO TOTAL (mg/L)
Ultraoligotrófico	<5
Oligomesotrófico	5 a 10
Mesoeutrófico	10 a 30
Eupoligotrófico	30 a 100
Politrófico	>100

Fuente: (Calderón y Vinicio 1997: 12).

G. Nitrógeno total

Es la suma de todos los aportes nitrogenados proteicos y no proteicos, que puedan ser susceptibles de convertirse en una forma común capaz de ser medida. No existen procesos espontáneos de formación de compuestos orgánicos nitrogenados sin la intervención de organismos vivos. El aumento de la carga nitrogenada de un tributario o cuerpo de agua está directamente relacionado con la densidad de las poblaciones humanas asentadas en sus riveras (Reyes 2009). Los datos de nitrógeno ayudan a tomar decisiones de si es necesaria la aireación del embalse. El nitrógeno total en aguas sin contaminación presenta una concentración de 0.10 mg/L – 3 mg/L, y en aguas residuales es de 20 mg/L – 70 mg/L (Pérez 2007).

Por otra parte, es importante conocerlos valores del nitrógeno en forma de nitritos, debido a que es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de algas; así también, en forma de nitrógeno orgánico causa una demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias nitrificantes, reduciendo así los niveles de oxígeno disuelto (Pérez 2007).

Las fuentes de nitrógeno en cuerpos de agua, pueden ser por precipitación en la superficie de la laguna, la fijación de nitrógeno tanto en el agua, como en los sedimentos, y entradas de drenaje de aguas superficiales y subterráneas (Wetzel 1975).

H. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es un parámetro indicativo de contaminación orgánica y biológica. Éste permite conocer los requerimientos relativos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica, como estimado final. Es en si un estimador de la materia orgánica biodegradable que se expresa como oxígeno consumido en miligramos/litro. Representa la reserva orgánica que permite continuar el equilibrio ecológico acercándose o alejándose de la eutrofización (Reyes 2009).

I. Demanda química de oxígeno (DQO)

También es un parámetro que indica la contaminación orgánica y biológica. Éste mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, tales como dicromato o permanganato, indicando el contenido de materias orgánicas oxidables y otras sustancias reductoras como Fe^{++} y NH_4^+ (Rigola 1989). Siempre el valor de la DQO será más elevado al DBO, debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente (Concha 2001).

J. Las grasas y aceites

Son compuestos orgánicos constituidos por ácidos grasos de origen vegetal o animal, así como los hidrocarburos de petróleo; sustancias de naturaleza lipídica. Las principales fuentes aportadores de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria de petróleo, procesadoras de carnes y embutidos, e industria cosmética (González y González 2015, Toapanta s. f.).

Las características más representativas de las grasas y aceites es que son de baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad, por lo que, si no son controladas se acumulan en la superficie de las aguas naturales, formando así natas y espumas. Éstas interfieren en el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera; no permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO_2 del agua hacia la atmósfera. En grandes cantidades de estas sustancias, se puede llegar a repercutir en la acidificación del cuerpo de agua, bajar los niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (Toapanta s. f.).

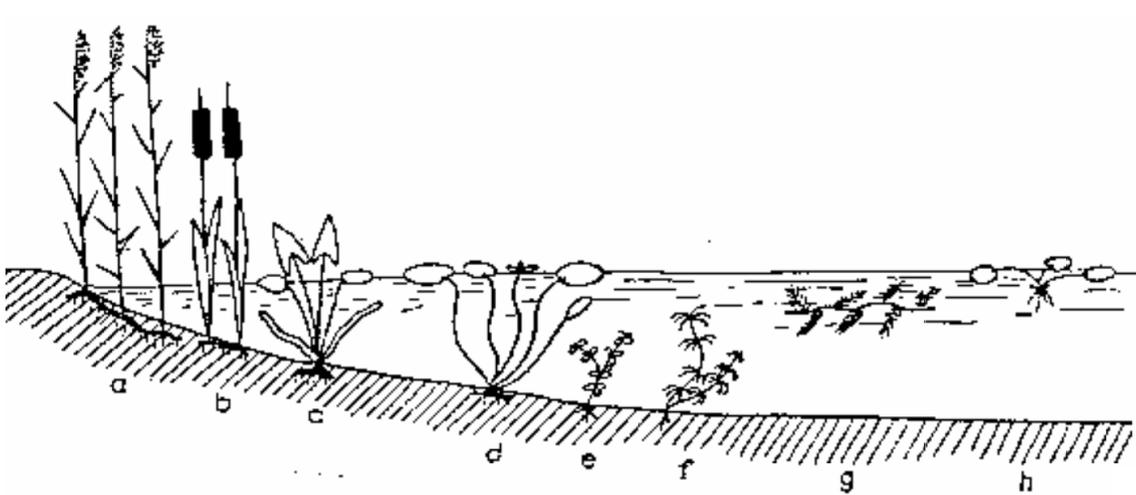
El contenido de grasas y aceites pueden afectar el medioambiente del ecosistema acuático, a través de los siguientes mecanismos:

- “Asfixia con efectos en las funciones fisiológicas.
- Toxicidad química que genere efectos letales y sustentables o provoque el deterioro de las funciones celulares.
- Cambios ecológicos, principalmente la pérdida de organismos clave de una comunidad y la conquista de hábitats por parte de especies oportunistas.
- Efectos indirectos, como por ejemplo la pérdida de hábitat o refugio y la eliminación resultante de especies con importancia ecológica” (ITOPF 2005).

2.2.7 Plantas hidrófitas

Las hidrófitas o plantas acuáticas son las que viven en el agua o en suelos inundados; junto a los cuerpos de agua, la vegetación muestra una zonación que está determinada en parte por la profundidad creciente del agua (González y Raisman 2002).

Estas plantas acuáticas pueden clasificarse de acuerdo con el hábito de crecimiento. En la siguiente figura 5, se muestra la clasificación de hidrófitas; existen varios tipos de plantas acuáticas dependiendo de si se encuentran enraizadas en el fondo o no, y sus órganos reproductores (flores) se encuentran bajo el nivel de las aguas o sobre él.



Fuente: (Ordoñez 1999).

Figura 5. Plantas hidrófitas.

A. Plantas anfibias (palustres o hidrófitos emergentes o helófitos) (a y b)

Se trata de plantas acuáticas adaptadas a vivir parcialmente en el agua. Son los grupos menos especializados de los hidrófitos. Constituyen las plantas dominantes en las riberas. Sus raíces y rizomas, que están más o menos sumergidos, presentan generalmente las mismas adaptaciones que los correspondientes a las plantas francamente acuáticas. Los helófitos aseguran la transición entre las plantas típicamente acuáticas y las terrestres. La mayoría de estos vegetales se encuentran ampliamente distribuidas, debido a que toleran amplios rangos de conductividad. Por lo contrario, las especies sumergidas responden a diferentes gradientes de profundidad y salinidad (Ordoñez 1999).

Hay plantas palustres de hojas anchas, y otras que forman los pajonales: muchas gramíneas, ciperáceas y juncáceas. Varias *Onagraceae* como *Ludwigia grandiflora* y *L. peploides* presentan largos tallos flotantes, sobre los cuales se disponen las hojas emergentes; en cada nudo nacen además raíces "flotantes" o neumatóforos, con geotropismo negativo, y raíces con geotropismo positivo, con estructura diferente. Los neumatóforos participan en el intercambio de aire, aparentemente toman oxígeno de la superficie, que circula al resto de la planta a través de los espacios intercelulares, y probablemente permiten la salida del dióxido de carbono (González y Raisman 2002).

B. Plantas acuáticas arraigadas con hojas flotantes (c y d)

Son frecuentes en agua estancada o en corrientes de agua lentas. Los rizomas están fijos, las hojas largamente pecioladas tienen el limbo flotante sobre la superficie del agua. Algunas de estas plantas presentan heterofilia: hojas sumergidas, flotantes y emergidas con forma diferente (González y Raisman 2002).

La cara adaxial de las hojas flotantes tiene características mesofíticas mientras la cara abaxial en contacto con el agua tiene caracteres hidrofíticos: aerénquima con grandes cámaras de aire y epidermis sin estomas (González y Raisman 2002).

C. Plantas acuáticas arraigadas sumergidas (e y f)

La totalidad del aparato vegetativo, hojas incluidas, se encuentran bajo el agua. A este grupo de macrófitos sumergidos tienen mucha importancia, debido a que sirven como indicadores de la calidad del agua, ya que los factores que influyen en su distribución son tanto físicos (profundidad), como químicos. Como en la mayoría de las lagunas la profundidad tiene poca importancia, la conductividad es una buena medida para establecer la distribución de estos macrófitos. En general, en las lagunas y estanques, la mayoría de plantas se localizan en los lugares en que es la menor conductividad, de forma que las zonas húmedas que menor concentración de cloruros presentan, son las que tienden a poseer una mayor riqueza de estas especies sumergidas (Ordoñez 1999).

El sistema radical reducido les sirve sólo de anclaje al suelo, pues el vástago puede absorber directamente agua, anhídrido carbónico y sales nutritivas. Son frecuentes en agua corriente; los tallos sumergidos no presentan tejido de sostén, no lo necesitan porque el agua sostiene la planta. El factor limitante es la escasez de oxígeno, de modo que los tallos y hojas contienen aerénquima, tejido con un sistema muy extendido de espacios intercelulares a través de los cuales difunden los gases (González y Raisman 2002).

Debido a la lenta difusión de los gases en el agua, a la luz difusa y a la relativa pobreza de sales, las hojas sumergidas presentan una alta relación superficie/volumen: pueden ser enteras y muy delgadas (*Potamogeton ferrugineum*, *P. pedersenii*), divididas o fenestradas (*Cabomba caroliniana*, *Myriophyllum aquaticum*) o pequeñas pero muy numerosas (*Egeria najas*) (González y Raisman 2002).

D. Plantas acuáticas libres sumergidas (g)

Son formas en “roseta”, con tallos delicados, pero bien desarrollados que carecen de raíces y flotan entre dos aguas (Ordoñez 1999).

Hay plantas libres sumergidas como *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia foliosa* y *U. myriocista*, sin raíces, con tallos bien desarrollados y hojas muy divididas.

E. Plantas acuáticas libres flotando en superficie (h)

Son vegetales que no están fijadas al sustrato y sus estructuras vegetativas y reproductivas, flotan en la superficie del agua, como por ejemplo la *Salvinia minima* Baker. Su sistema vascular es reducido y carece de lignina (Ordoñez 1999).

2.2.8 Plantas indicadoras

Tradicionalmente, la calidad del agua se ha establecido mediante análisis fisicoquímicos, que son más precisos en valor absoluto, pero proporcionan información parcial y puntual. La principal ventaja del control biológico es que proporciona una visión integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, es decir, refleja las condiciones existentes tiempo atrás del muestreo. Por ello, lo más conveniente es combinar los análisis fisicoquímicos con la utilización de indicadores bióticos (Facultad de Biología s. f.).

Un indicador es un elemento de medición asociado a un factor que proporciona una medida cualitativa o cuantitativa de la evolución en magnitud de un fenómeno, con base en una función de valores de dichos elementos. Específicamente, los bioindicadores son organismos o comunidades de organismos cuya presencia indica alguna condición medioambiental más o menos definida, y responden fisiológica o conductualmente a un amplio espectro de sustancias o concentraciones tóxicas, seas éstas de origen orgánico o inorgánico, natural o de influencia humana (Ospina y Peña 2004).

En el caso de los indicadores biológicos, la presencia o ausencia de ciertas especies, constituye una unidad de medición sobre las condiciones cualitativas de un cuerpo acuático; de tal manera que una vez conocido y caracterizado un ecosistema acuático, la presencia y proporción de determinados individuos, puede indicar de manera directa y precisa concentraciones específicas de alguna sustancia contaminante (Ospina y Peña 2004).

En los ecosistemas acuáticos, la contaminación (por fuentes orgánicas o inorgánicas) provoca una serie de modificaciones fisicoquímicas en el agua, que repercuten en la composición y distribución de las comunidades. En los organismos acuáticos los efectos del sometimiento a una descarga tóxica, transcurren con el tiempo de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y

ecosistemáticas; y la magnitud de los cambios registrados en los organismos, depende del tiempo que dure la perturbación de las condiciones iniciales del sistema acuático, su intensidad y naturaleza (Ospina y Peña 2004).

En los últimos años, se ha empelado la evaluación de la calidad del agua, basándose en la utilización de comunidades biológicas (Ospina y Peña 2004).

El uso de bioindicadores para la percepción de procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tienen varias ventajas:

- Las comunidades bióticas y especies responden a efectos acumuladores intermitentes que en los análisis fisicoquímicos no detectan.
- La vigilancia biológica obvia la determinación regular de diferentes parámetros de origen físico y químico, debido a que los organismos se sintetizan o confluyen muchas de estas variables.
- Las especies indicadoras permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos o insospechados en los ecosistemas acuáticos.
- La concentración de muchas sustancias que se acumulan en organismos, indica y refleja el nivel de contaminación ambiental.
- Debido a que complicado la toma de muestras vegetativas de un sistema acuático, la selección de algunas pocas especies indicadoras simplifica y reduce costos (Pinilla 2000).

De acuerdo con Pinilla (2000: 13), “el principal uso que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes (eutrofización) o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases, con miras a establecer la calidad del agua.”

También, existe una serie de fenómenos que no son de origen cultural y que se pueden determinar mediante bioindicadores, tales como:

- Saturación de oxígeno.
- Condiciones de anoxia.
- Condiciones de pH.
- Estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua.
- Turbulencia del agua.
- Torrencialidad.
- Proceso de mezcla entre el epilimnio y el hipolimnio de cuerpos lénticos.
- Eutrofización natural.
- Grado de mineralización del agua.
- Presencia de elementos como hierro, sílice y calcio.
- Fenómenos de sedimentación.
- Transparencia del agua.
- Cambios climáticos estacionales.
- Cambios estructurales y sucesionales (Pinilla 2000).

A. Macrófitas acuáticas

El término “macrófito”, se refiere a las plantas acuáticas visibles a simple vista, entre las que se encuentran principalmente plantas vasculares acuáticas.

Las macrófitas acuáticas se han utilizado como bioindicadores a mediano y largo plazo, para evaluar la calidad del agua, las cuales tienen la habilidad para asimilar hasta cierto punto, todos los constituyentes del agua, considerados como contaminantes (Martelo y Lara 2012), son plantas que habitan en ambientes acuáticos e inundables.

Los macrófitos se consideran útiles para la detección y el seguimiento de las presiones fisicoquímicas que se produzcan:

- Reducción de la transparencia del agua.
- Variación de la mineralización (conductividad y salinidad).
- Eutrofia (Facultad de Biología s. f.).

Los macrófitos también son sensibles a las presiones hidromorfológicas que produzcan:

- Variaciones del régimen del caudal, continuidad del río y características morfológicas del lecho de los ríos. Los hidrófitos reflejan este tipo de alteraciones respondiendo normalmente con un aumento de cobertura de estas especies.
- Variación del nivel del agua de lagos o lagunas, o cambios en la duración del período de inundación en humedales.
- Variación de las características morfológicas del vaso de lagos o lagunas (Facultad de Biología s. f.).

Las macrófitas flotantes comprenden un amplio y variado grupo de plantas, entre las que se destaca el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia* sp.), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna* sp., *Spirodella* sp.) (Martelo y Lara 2012).

La morfología de las macrófitas flotantes difiere dependiendo de la especie. Por ejemplo, el jacinto de agua (especie predominante en los sistemas de tratamiento), es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los pecíolos de la planta son elongados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta (Martelo y Lara 2012).

Durante la etapa de crecimiento, las macrófitas absorben e incorporan los nutrientes en su propia estructura y funcionan como sustrato para los microorganismos que promueven la asimilación de estos nutrientes a través de transformaciones químicas, incluyendo nitrificación y desnitrificación (Martelo y Lara 2012).

En la fotosíntesis, las macrófitas flotantes emplean el oxígeno y dióxido de carbono disponible en la atmósfera. Los nutrientes son tomados de la columna de agua a través de las raíces, las cuales constituyen también un excelente medio para la filtración/adsorción de sólidos suspendidos. El desarrollo de raíces es función de la disponibilidad de nutrientes en el agua y la demanda de nutrientes por planta. Por consiguiente, la densidad y profundidad del medio filtrante (raíces), depende en gran medida de factores como la calidad del agua, temperatura (Martelo y Lara 2012).

Los sistemas acuáticos con macrófitas flotantes, reducen significativamente el paso de la luz solar y restringen la transferencia de gases entre la atmósfera y el agua. Como consecuencia estos sistemas tienden a permanecer libres de algas. Así mismo, esta condición puede resultar en bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua, que eventualmente sería útil para sustancias que lo demandan (Martelo y Lara 2012).

2.2.9 Estrategias de control y manejo del proceso de eutrofización

Con el manejo, mitigación y recuperación de cuerpos de agua, se generan recursos económicos propios del área, por la demanda de préstamo de servicios derivado del turismo, así también, otros beneficios como la conservación de la biodiversidad y la belleza paisajística.

Según Parra (1989), los programas de control de la eutrofización pueden estar enfocados a tratar las causas, o bien, atacar los síntomas que lo están provocando ésta.

El desarrollo de estrategias de manejo de la eutrofización debe considerar los siguientes pasos:

- Identificar el problema de eutrofización y establecer los objetivos del manejo.
- Examinar la información existente que se tenga del cuerpo de agua.
- Identificar métodos disponibles y practicables de control de eutrofización, de acuerdo con el área en la que se efectuará.
- Considerar todos los costos y beneficios que pudiesen surgir de las alternativas de estrategias de manejo.
- Analizar el marco legal y administrativo correspondiente a las actividades planteadas y al área, para la implementación de las estrategias.
- Escoger estrategias de control y socializarlas a las partes interesadas.
- Manejar mecanismos institucionales para disminuir los futuros problemas de eutrofización (Parra 1989).

Las estrategias por desarrollarse deben estar encaminadas hacia la optimización de la calidad del agua para usos deseados del recurso hidrológico. Así mismo, estar en la certeza de que la calidad del agua del embalse eutrofizado se podrá mejorar (Parra 1989).

A. Manejo de especies exóticas e invasoras

Las especies invasoras o especies exóticas pueden ser plantas, animales u otros organismos introducidos que se encuentran fuera de su rango de distribución original. Cuando hablamos de plantas invasoras, éstas causan modificaciones dañinas a la estructura de la comunidad vegetal; debido a que desplazan a las especies nativas, donde podría resultar la extinción de éstas.

Según Vitousek *et al.* (1997), las especies exóticas invasoras constituyen una de las amenazas más serias para la biodiversidad.

En las áreas perturbadas es común encontrarse con invasiones biológicas, considerándose que las invasiones pueden ser una de las principales consecuencias de las perturbaciones; siendo las plantas invasoras un componente substancialmente representativo de la flora y fauna de varios países (Vitousek *et al.* 1997).

Con el manejo técnico-científico de las plantas exóticas invasoras, se prioriza la prevención de nuevas introducciones, o bien, la detección temprana para su erradicación inmediata. Se sugiere toda vez el éxito está garantizado, se lleve a cabo la estrategia de erradicación. Por otra parte, si la estrategia es inviable, se plantean alternativas de manejo a largo plazo, tales como la contención, control sostenido y la exclusión de un sitio particular. Este tipo de estrategias requieren estudios de factibilidad, beneficio-costos y la verificación de cumplimiento de los objetivos establecidos (Sanguinetti *et al.* 2014).

Por último, si se tienen existen dudas razonables sobre la certeza o sobre los impactos negativos del manejo a realizar, podría resultar que la decisión de “no acción” sea la más adecuada, siendo ésta una opción de gestión válida si se toma consciente y responsablemente luego de un análisis pormenorizado de la invasión. El análisis a efectuarse requiere información, criterios y protocolos de toma de decisión que contribuyan a determinar la conveniencia de no actuar (Sanguinetti *et al.* 2014).

B. Aireación artificial

La aireación artificial consiste en la introducción de oxígeno al agua mediante el uso de equipos mecánicos, tales como bombas o compresores de aire, produciendo así microburbujas, o bien, haciendo fluir el agua de manera vertical. La aireación ayuda a elevar los niveles de oxígeno, reduciendo la DBO, mejora la calidad del agua, reduce significativamente el fósforo, nitrógeno, la clorofila A, e incrementa la claridad del agua (Pérez 2007).

2.3 MARCO REFERENCIAL

“A finales de mayo de 1955, según el Acuerdo Gubernativo 26-05-55, en la denominada Semana del Árbol, el entonces Presidente de la República, Carlos Castillo Armas, acordó declarar los primeros parques nacionales del país y zonas de veda definitiva” (Sunun 2014: 1), en donde entró el Parque Nacional Laguna El Pino. Mas, el parque fue inaugurado para el acceso al público en junio de 1972 (Duarte 2014). El parque está catalogado en la Categoría de Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza VI (UICN VI) (Sunun 2014).

Hoy en día el Instituto Nacional de Bosques (INAB) está a cargo de la administración del parque. El INAB mediante un convenio, comparte la administración con la Asociación de Caficultores de Oriente de Guatemala (ACOGUA) y el Comité para la Conservación y Mejoramiento del Parque Nacional Laguna El Pino. Cabe agregar que las municipalidades de Barberena y Santa Cruz del Naranjo, apoyan los distintos procesos de conservación, restauración, desarrollo y mejoramiento del parque.

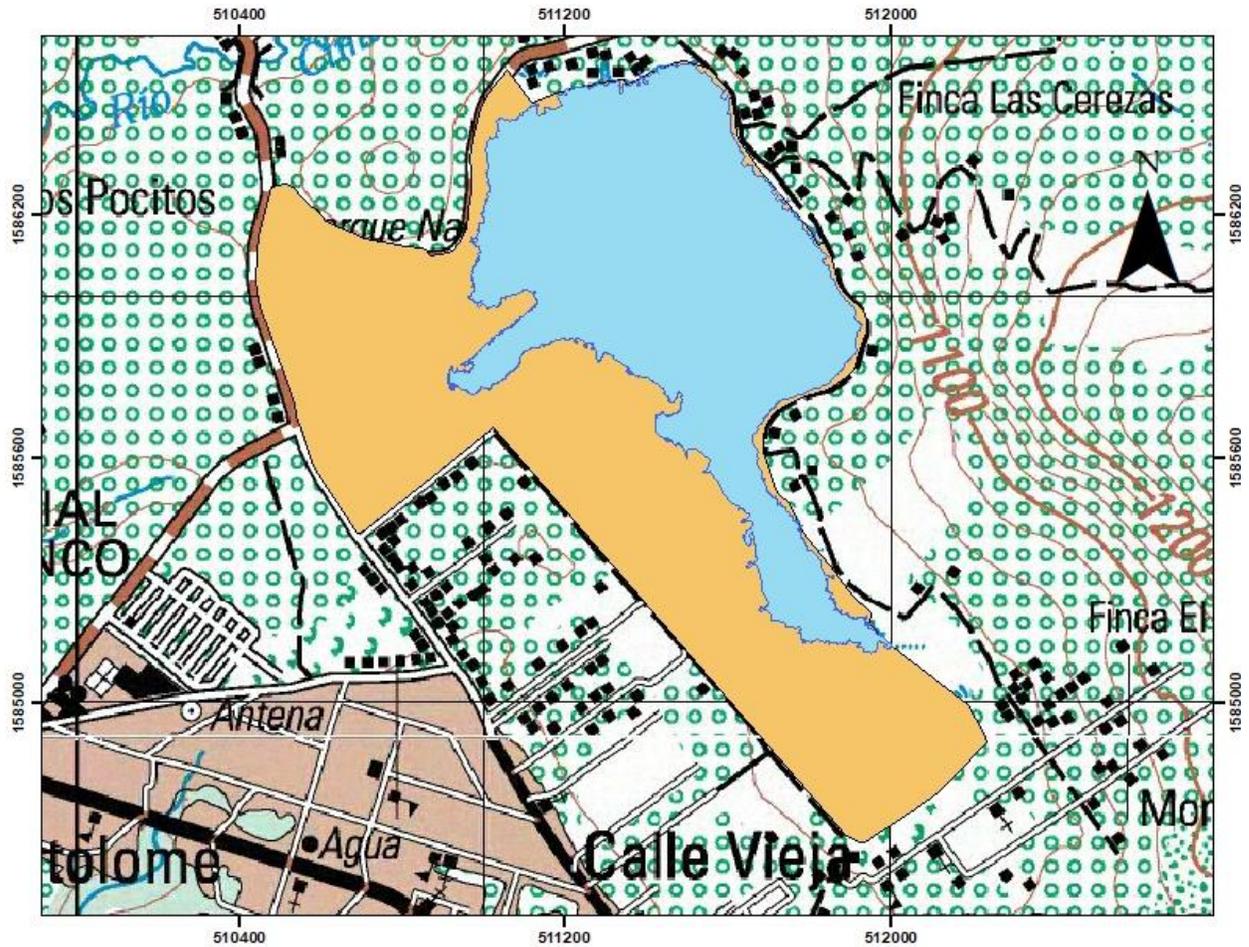
De acuerdo con los mapas realizados del Parque Nacional Laguna El Pino, éste tiene un área 150 ha, y la laguna un total de 64.60 ha.

2.3.1 Localización

El Parque Nacional Laguna El Pino, ubicado jurisdiccionalmente en los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo, del departamento de Santa Rosa, en las coordenadas geográficas 14°20'35.20" Latitud Norte y 90° 23'48.6" Longitud Oeste; y el área presenta una elevación máxima de 1,016 m s.n.m. (CONAP *et al.* 2013).

Políticamente se encuentra ubicada en la aldea Fray Bartolomé de las Casas (conocida como El Cerinal) y geográficamente se encuentra localizada dentro de la cuenca del río María Linda (Valenzuela 1982).

En la figura 6, se muestra el mapa de ubicación del Parque Nacional Laguna El Pino.



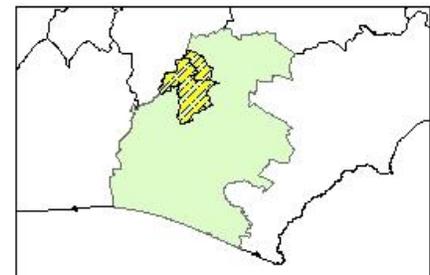
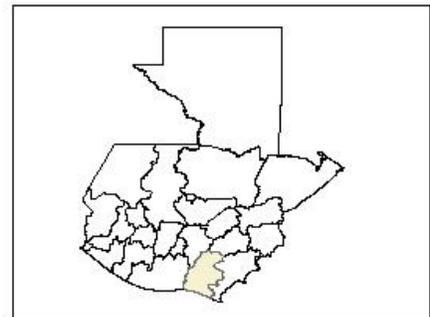
**MAPA DE UBICACIÓN
PARQUE NACIONAL LAGUNA EL PINO**

Santa Cruz El Naranjo y Barberena,
Santa Rosa,
Guatemala

Coordinate System: GTM
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

Elaborado por: Andrea Stefania Solombrino Véliz

Guatemala, 2019



LEYENDA

- Parque Nacional Laguna El Pino
- Laguna El Pino

Fuente: elaboración propia en base a IGN (s. f.).

Figura 6. Mapa de ubicación del Parque Nacional Laguna El Pino.

2.3.2 Vías de acceso

El Parque Nacional Laguna El Pino se encuentra a una distancia aproximada de 50 Km de la ciudad capital. La principal fuente de acceso es a través de la Carretera Interamericana (carretera a El Salvador), luego debe desviarse en el kilómetro 48, hacia un camino de terracería, el cual tiene de aproximadamente 1.60 Km de longitud (el desvío está a la izquierda de la carretera cuando se va de Guatemala a Barberena). El parque cuenta con una entrada principal, para vehículos y peatones, y dos entradas más, las cuales son utilizadas principalmente por los vecinos de Santa Cruz Naranjo y la comunidad de Monterroso.

2.3.3 Colindantes

La cuenca colinda al Norte con la finca El Carmen Estrada, al Sur con la finca Santa Teresa, al Este con la aldea El Colorado y al Oeste, con el parcelamiento Fray Bartolomé de las Casas, por lo que se deduce que parte de dicha cuenca pertenece al municipio de Santa Cruz Naranjo y la otra a la de Barberena (Duarte 2014).

De acuerdo con Valenzuela (1982), “la cuenca lacustre Pino, se encuentra limitada al Norte por la finca El Colorado, al Sur por el microparcelamiento Fray Bartolomé de las Casas, al Este por la finca Santa Teresa y al Oeste por el río Cimarrón.”

2.3.4 Clima y temperatura

Con datos del 2013 del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) en el área que abarca el parque, hay una temperatura promedio de 24.60 °C; teniendo una humedad promedio anual de 76 %, su clima generalmente es húmedo y semicálido; una precipitación anual de 1,552.3 mm, mas, presenta inviernos secos; y vientos con velocidad de 2.70 Km/h (CONAP *et al.* 2013).

2.3.5 Cuencas hidrográficas

Como se puede observar en la figura 3, la subcuenca de la laguna El Pino, se encuentra dentro de la cuenca del río María Linda. Según la Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, se le incluye dentro del Bosque Húmedo Subtropical (Templado). La cuenca del

río María Linda, se considera vertiente del Pacífico y posee un rango de elevación de 0 m s.n.m a 3,764 m s.n.m. Su cauce posee una longitud de 118.50 Km, afectando un total de 1,290,777 habitantes. La laguna El Pino, se considera una subcuenca (endorreica) de la cuenca del río María Linda abarcando un área total de 1,308.44 ha (CONAP *et al.* 2013).

En la figura 7, se muestra la localización de la cuenca del río María Linda.

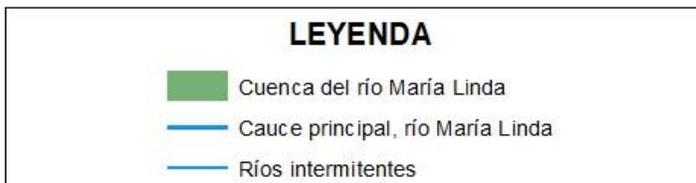
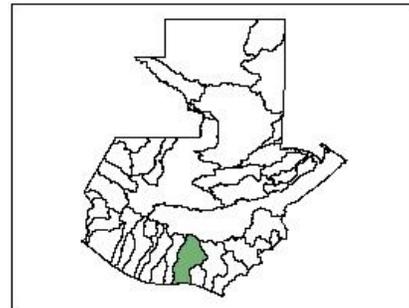
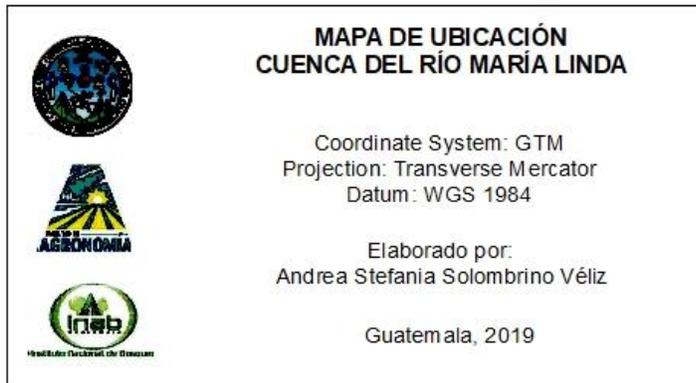
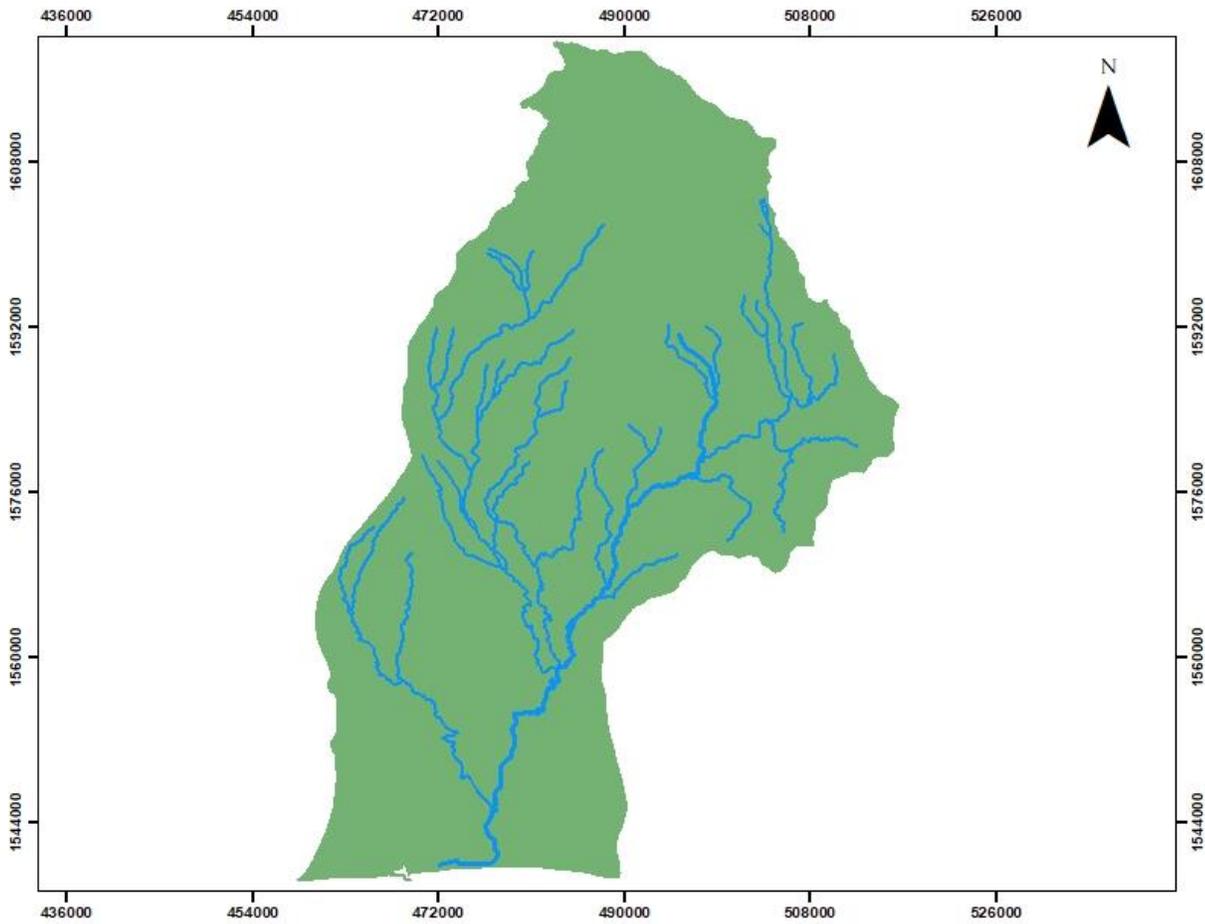


Figura: elaboración propia en base a MAGA (2000).

Figura 7. Cuenca del río María Linda.

2.3.6 Usos del agua

El uso del agua de la laguna es variado, tales como: el riego en viveros frutales y forestales, de café, hortalizas, florales y las plantaciones de grama (se encuentran del Oeste, Noreste y Sureste); además de pesca de subsistencia y recreativa; caracoleo; lavado de ropa; en forma indirecta para uso doméstico en viviendas, chalés (Noreste), y potreros (Sureste); y el abastecimiento de cisternas para su venta en poblados cercanos. También tiene fines recreativos, como natación por los bañistas, remo, paseos en moto de agua y en pequeñas embarcaciones (Sunun 2014).

De acuerdo con Sunun (2014), hay seis nacimientos de agua subterráneos identificados, mas, uno de éstos es un túnel al que no se le ha encontrado fin, del que se cree que es un río subterráneo que ingresa a la laguna.

2.3.7 Aspectos relevantes

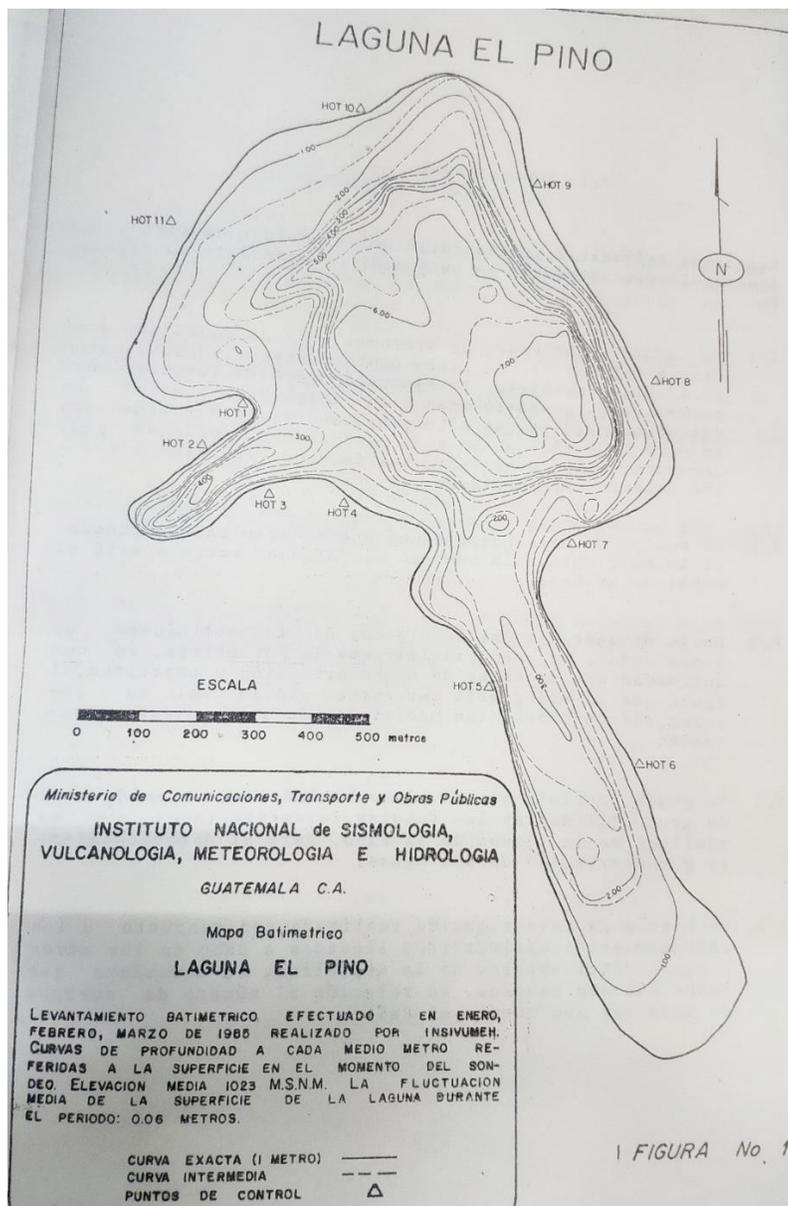
De acuerdo con Sunun (2014:25),

“parte de los integrantes del comité de mejoramiento indicaron que en épocas pasadas la laguna era más grande, pero que en 1930 debido quizás a una falla geológica, la laguna empezó a vaciarse en el área Sureste, en el lugar conocido como El Consumidero, pero los dueños de la finca Viñas, de la que era parte la laguna, rellenaron dicha área con distintos materiales como ripio, latas, madera, entre otros, a fin de que la laguna no se secase. Algunos coinciden en que ésta se redujo aún más a causa del drenaje que se hizo en la parte norte en el año de 1935, con el objetivo de causar corrimiento del agua en la laguna, ya que ésta permanecía estancada y favoreciendo la proliferación del zancudo (*Anopheles sp.*)”

“(…) Algunos atribuyen que el drenaje ha provocado un desplazamiento del agua, creando un vacío en el área Sur, el que ha sido ocupado por vegetación terrestre, ocasionando como consecuencia que esta área sea donde se observa la mayor reducción de la laguna, ya que cada año antes de que principie el invierno el drenaje es destapado, lo cual genera una baja considerable en el volumen de agua” (Sunun 2014:25).

Además, de acuerdo con un levantamiento batimétrico, la profundidad máxima de la laguna es de 7.47 m (Ministerio de Comunicaciones Transporte y Obras Públicas e INSIVUMEH 1985), el cuerpo de agua es pequeño, de forma irregular, y cuenta con un débil oleaje (Sunun 2014), y la formación de la laguna es a base de agua estancada (Rivera 1984).

En la figura 8, se muestra el levantamiento batimétrico realizado en el 1985, en la laguna El Pino.



Fuente: Ministerio de Comunicaciones Transporte y Obras Públicas e INSIVUMEH 1985.

Figura 8. Mapa batimétrico de la laguna El Pino, del año 1985.

Cabe agregar que, de acuerdo con Rivera (1984), “todos los drenajes naturales que existen en la laguna son efímeros, es decir, que son activos sólo en épocas de lluvia; pero también existen drenajes artificiales que funcionan en épocas específicas del año, como lo son los drenajes de los beneficios de café, y lo drenajes habitacionales que funcionan todo el año”.

Según Rivera (1984), citado por CONAP *et. al* (2013:20), “el 20 % de las orillas del espejo de agua es propiedad del Estado de Guatemala, y el 80 % es propiedad privada”. Debido a esto, los límites del área son variantes, ya que las orillas de presentan azolvamiento (CONAP *et al.* 2013).

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 General

Evaluar las principales causas del proceso de eutrofización y de la vegetación, las cuales contribuyen a la disminución del cuerpo de agua en la laguna El Pino, Santa Rosa para proponer alternativas que ayuden a revertir el proceso.

2.4.2 Específicos

1. Identificar la ubicación las principales fuentes de contaminación de origen antrópico, que provocan la eutrofización actual de la laguna.
2. Determinar el estado actual de la vegetación acuática a terrestre en las orillas del cuerpo de agua, que permitan hacer planteamientos de manejo para la conservación del cuerpo de agua y vegetación acuática.
3. Analizar el enriquecimiento nutritivo que presenta la laguna por medio de análisis de agua, suelo y sedimentos.
4. Proponer alternativas que permitan dar recomendaciones para revertir el proceso de eutrofización en la laguna.

2.5 HIPÓTESIS

El estudio del proceso de eutrofización y vegetación acuática a terrestre permite conocer e interpretar las causas de la disminución del cuerpo de agua del Parque Nacional Laguna El Pino y elaborar propuestas para la mitigación.

2.6 METODOLOGÍA

El estudio de la eutrofización y la vegetación en el Parque Nacional Laguna El Pino, es de tipo aplicada, cuantitativa-exploratoria, en donde a partir de información obtenida en campo de fuentes de contaminación, vegetación acuática-terrestre a orillas de la laguna, se presente dar recomendaciones iniciales para el manejo y conservación del cuerpo de agua.

La metodología para la realización del estudio está dividida principalmente en cuatro fases: a) el análisis de fuentes de contaminación, b) estudio de vegetación, c) estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna y d) las recomendaciones para revertir la eutrofización de la laguna. Así mismo, cada una de éstas, está subdividida en diferentes etapas, para cumplir el objetivo de cada fase.

2.6.1. Análisis de fuentes de contaminación

A. Información preliminar de las condiciones de la laguna

- Se delimitó los límites del área de estudio en Google Earth Pro, realizando un polígono; éste se guardó en formato kml. Luego, se exportó la delimitación (.kml) a ArcGIS 10.3, mediante la conversión de .kml a shapefile.
- Mediante entrevistas estructuradas y conversaciones informales con trabajadores, se recopiló información como fuentes primarias, acerca del uso del agua, uso de la tierra en los alrededores, centros poblados cercanos (características sociales y su relación con la laguna), características estructurales y texturales del suelo (cuadro 19A).

B. Reconocimiento del área a nivel de campo

- Se realizó un levantamiento topográfico para obtener el polígono realizado en campo, que refleja el área total de éste. El levantamiento topográfico se llevó a cabo mediante el caminamiento de los límites del parque, en donde se georreferenció cada mojón del área protegida.

- Se corroboró la información cartográfica, mediante recorridos en el área forestal, orillas de laguna y límites del parque, en donde también se georreferenció con Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Con las coordenadas obtenidas en el recorrido en los límites del parque, se procedió a actualizar el mapa del área. Primero la información se trasladó a hojas de cálculo, luego, se trasladó a Google Earth Pro, en donde se corrigió el polígono del parque.
- Así también, se realizaron entrevistas estructuradas y conversaciones informales con trabajadores y/o visitantes, con el fin identificarse con parte de la realidad de las fuentes contaminantes, uso y manejo del parque (cuadro 21A).

C. Identificación de puntos de contaminación

- Se realizó un recorrido en los límites del Parque Nacional Laguna El Pino, con la finalidad de identificar las fuentes de contaminación, las cuales, se georreferenciaron con GPS durante la actividad.
- Se prosiguió a clasificar las fuentes de contaminación, según la naturaleza y/o origen de éstas.
- Las coordenadas se ingresaron a Google Earth Pro, luego, se exportó en formato kml, y procedió a abrirlo en ArcGIS 10.3, para la realización de un mapa temático donde se visualicen las fuentes de contaminación.
- El resultado de la identificación de las fuentes de contaminación se presenta en un mapa temático, en donde se visualizan como diferentes puntos dentro del polígono del parque; así mismo, en su leyenda se nombran según su clasificación correspondiente.

2.6.2 Estudio de la vegetación

A. Muestreo y cuantificación de vegetación

- Se realizaron un total de 11 transectas, siendo un muestreo tipo preferencial; éstas se efectuaron con 2 m de ancho (1 m a cada lado), y el largo varió de acuerdo con la longitud que presente la vegetación y la profundidad de la laguna. Las transectas se

ejecutaron de tierra firme, hacia el agua. En donde, en campo se tomó la cobertura, frecuencia y sociabilidad de las especies que se encontraron dentro del área total de la transecta (cuadro 23A).

- Se recolectaron muestras de vegetación en la zona acuática, pantanosa, y de pradera. Cada planta colectada fue diferente; ésta identificó en el momento con número de planta, ubicación (GPS), fecha de colecta (día/mes/año), se definió el área de colecta (agua, pantano, tierra), por último, una pequeña descripción del ejemplar. Los ejemplares que se colectaron se trasladaron en bolsas plásticas grandes, las cuales iban debidamente cerradas, con el fin de mantener la humedad en su interior; posteriormente, una de la misma especie, que presentase las mejores características, se herborizó. A las plantas originarias de tierra firme, se les cambió la prensa cada día o cada dos días; y las plantas provenientes de agua o pantano, se les efectuó el cambio de prensa, dos a tres veces por día, así mismo, se utilizó papel secante (papel mayordomo).
- Con el fin de conocer el nombre científico de cada una de las plantas, se realizó una determinación botánica, para lo que se hizo uso de varias claves taxonómicas como herramientas, tales como los diferentes tomos de la Flora de Guatemala, Flora de Mesoamérica; así también, se revisaron catálogos botánicos en línea como, Tropicos (Tropicos.org) The Plant List (Theplantlist.org) y Catalogue of Life (Catalogueoflife.org). La actividad se llevó a cabo en el herbario BIGUA de la Escuela de Biología, de la Universidad de San Carlos de Guatemala (figuras 22A, 23A, y 24A).

B. Índice de valor de importancia (IVI)

Se calculó el IVI para las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas. Se valoraron los parámetros de cobertura (absoluta y relativa), frecuencia (absoluta y relativa) y densidad (absoluta y relativa); con estos valores ya obtenidos, se procedió a realizar el cálculo de valor de importancia de cada especie.

a. Cálculo de valores reales

A continuación, se muestran las fórmulas para obtener los valores reales (Matteucci y Colma 1982).

- Dreal: $\frac{(\text{densidad1} + \text{densidad2} + \dots)}{\text{Número de unidades muestrales}}$
- Creal: $\frac{(\text{cobertura1} + \text{cobertura2} + \dots)}{\text{Número de unidades muestrales}}$
- Freal: $\frac{(\text{Número de unidades muestrales que esté presente en cada especie}) * 100}{(\text{Número de unidades muestrales})}$

b. Cálculo de valores relativos

A continuación, se muestran las fórmulas para obtener los valores relativos (Matteucci y Colma 1982).

- Drelativa: $\frac{(\text{Dreal})}{(\sum \text{Dreales})} * 100$
- Crelativa: $\frac{(\text{Creal})}{(\sum \text{Creales})} * 100$
- Frelativa: $\frac{(\text{Freal})}{(\sum \text{Freales})} * 100$

c. Valor de importancia (VI)

A continuación, se detallan las fórmulas para obtener el valor de importancia (Matteucci y Colma 1982).

- $VI_{\text{herbácea}} = D_{\text{relativa}} + C_{\text{relativa}} + F_{\text{relativa}}$
- $VI_{\text{arbustiva}} = D_{\text{relativa}} + C_{\text{relativa}} + F_{\text{relativa}}$
- $VI_{\text{arbórea}} = D_{\text{relativa}} + C_{\text{relativa}} + F_{\text{relativa}}$

Los resultados obtenidos en plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas de cobertura, frecuencia y densidad se tabularon en una hoja de Excel®, para continuar con el cálculo de valores reales y relativos, para la obtención del índice de valor de importancia. Los datos obtenidos se colocaron en una tabla en donde se especificó la especie, la densidad, cobertura, frecuencia, densidad relativa, cobertura relativa, frecuencia relativa e índice de valor de importancia.

C. Cálculo de índices de diversidad biológica

a. Cálculo del índice de biodiversidad biológica alfa

- **Índice de diversidad (Shannon Wiener)**

El índice de Shannon Wiener (H'), tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia. Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas presente en la muestra. Además, mide la uniformidad de la distribución de los individuos entre las especies (Badii *et al.* 2008).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = coeficiente de diversidad Shannon Wiener.

P_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Con ayuda del programa Palaeontological Statistics (PAST) versión 1.89, se analizó la información de este índice, con la densidad de especies que se encuentra en cada transecta realizada.

- **Índice de equidad (Pielou)**

Mediante éste se mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Sus valores son de 0 a 0.10; en donde 0.10 corresponde a situaciones en las que las especies son igualmente abundantes (Moreno 2001).

A continuación, se encuentra la fórmula para el índice de equidad de Pielou.

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener.

\ln = Logaritmo natural.

S = Número máximo de las especies de la muestra.

- **b. Cálculo de los índices de biodiversidad biológica beta**

“Una buena representación de la diversidad beta, se puede obtener a través de un análisis clúster, mediante el cual se unen los dos puntos más similares en la matriz para formar con ellos un único clúster. El análisis continúa añadiendo sitios similares hasta cuando todos se unen en un único grupo” (Velez y Fresneda 1992: 8). El análisis se realizó con los datos de densidad, por lo que para la conformación de la matriz de similitud se utilizó la distancia euclidiana.

Distancia euclidiana (DE)

$$DE = \sqrt{\sum (X_{ij} - X_{ik})^2}$$

Donde:

DE = Distancia euclidiana.

X_{ij} = cantidad de especies en la comunidad j, y.

X_{ik} = cantidad de especies en la comunidad k.

Con ayuda del programa Palaeontological Statistics (Past) Versión 1.89, se analizó la información de este índice de distanciamiento, en donde se realizó una matriz mitad y un dendrograma utilizando la técnica de promedios ponderados, mediante los datos de densidad de las especies.

2.6.3 Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna

A. Agua

a. Medición de profundidad de la laguna

- Para la medición de la profundidad de la laguna, se realizó un sondeo mediante una cuerda (de 20 m de longitud, la cual se identificó cada 0.50 m) y una plomada topográfica; donde, se realizaron dos recorridos, uno de Sur a Norte, y el otro, de Oeste a Este. Las trayectorias consistieron en ir de un extremo a otro (tanto para Sur a Norte, como Oeste a Este), donde se midió la profundidad cada 50 m de distancia.
- Con el conjunto de datos obtenidos en el sondeo, se elaboraron dos perfiles de profundidad de la laguna, siendo éstos correspondientes de Sur a Norte, y de Oeste a Este, en donde se percibe la profundidad máxima que hay en época de lluvias.

b. Muestras de agua de la laguna

- Se realizó un muestreo preferencial de agua; en donde se colectaron las muestras a orillas de la laguna, y una muestra en el centro de ésta; para la muestra del centro de la laguna se dirigió al punto en lancha. Se efectuaron un total de 8 muestreos de agua, los cuales se tomaron a una profundidad de 0.30 m. Se hizo uso de recipientes plásticos con capacidad de almacenamiento de 1 galón, los cuales pasaron por un proceso de desinfección previo a su uso. Antes de las tomas de muestras, cada contenedor se esterilizó con alcohol al 99 %, y se procedió a lavar éste tres veces con agua destilada. Durante cada muestreo, se utilizaron guantes de látex desinfectados.
- Cada muestra de agua tomada se identificó con su correspondiente etiqueta (la cual indica el punto de muestreo, hora y día en que se realiza el muestreo) (cuadro 27A).

- Las muestras tomadas se conservaron en una hielera, manteniendo una temperatura de 4 °C, las cuales se entregaron 4 horas después al laboratorio, para su análisis.

c. Análisis de agua

- Toda muestra realizada, tanto las provenientes de las fuentes de contaminación, y en lugares varios de la laguna, se trasladaron al laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Química y Farmacia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se trabaja el análisis de agua residuales, con los parámetros impuestos por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos; por lo que se contemplaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites.
- Una vez obtenido los resultados del análisis, se continuó a vaciar los datos obtenidos en un cuadro que tuviese las columnas de número de muestra, pH (upH), conductividad (mS/cm), sólidos sedimentables (mL/L), sólidos en suspensión (mg/L), sólidos totales (mg/L), DBO (mg/L), DQO (mg/L), nitrógeno total (mg/L), fósforo total (mg/L), aceites y grasas (mg/L) y color (Pt-Co).

B. Tierra firme

a. Identificación preliminar de suelos

- A las orillas de la laguna se identificó en dónde ya hay una vegetación sucesional (terrestre a acuática). Mediante caminamientos se hizo una identificación preliminar.
- Se realizaron 6 muestreos de suelo, de tipo preferencial; éstos se llevaron a cabo en los alrededores de la laguna. Antes de la toma de la muestra de suelo, se describieron algunas características de los suelos (textura, estructura, profundidad efectiva, pendiente y vegetación presente) (cuadro 29A).

b. Muestras de suelos

- En bolsas con capacidad de 2 kg, se extrajo 1 kg de suelo y se identificó la muestra, por número de muestra y uso de suelo (este procedimiento se realizó en los 6 muestreos).
- Se procedió a secar cada muestra, extendiendo el suelo en bolsas de plásticas, en una superficie seca, bajo el sol directo durante cuatro días, en las horas luz.
- Todas las muestras de suelo se trasladaron al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Plantas de la Facultad de Agronomía, para su análisis químico (clase textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio y elementos menores).
- Los datos obtenidos de los análisis de suelos, ingresaron a un cuadro que está compuesto por las columnas de: número de muestreo, pH (upH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fósforo (ppm), cobre (ppm), zinc (ppm), manganeso (ppm), capacidad de intercambio catiónico (Meq/100 g), calcio (Meq/100 g), magnesio (Meq/100 g), sodio (Meq/100 g), potasio (Meq/100 g), saturación de bases (%), materia orgánica (%), nitrógeno total (%) y clase textural.

C. Sedimentos de lodos

- En el área pantanosa, donde se presentan mayormente lodos, se realizó un muestreo preferencial. Se extrajeron 6 muestras de 1 kg en frascos de vidrio previamente esterilizados; para la colección de la muestra, se hizo uso de guantes de látex esterilizados. Para cada muestra de sedimentos se identificó según el número de muestra y se indicó que es propia la zona pantanosa (cuadro 31A). Las muestras tomadas se conservaron en una hielera, manteniendo una temperatura de 4 °C, por 4 horas, para su análisis de laboratorio.
- Las muestras de lodos se trasladaron al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Plantas de la Facultad de Agronomía, para su análisis químico (clase textura, pH,

conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio y elementos menores).

- Los datos obtenidos de los análisis de suelos, ingresaron a un cuadro que está compuesto por las columnas de: número de muestreo, pH (upH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fósforo (ppm), cobre (ppm), zinc (ppm), manganeso (ppm), capacidad de intercambio catiónico (Meq/100 g), calcio (Meq/100 g), magnesio (Meq/100 g), sodio (Meq/100 g), potasio (Meq/100 g), saturación de bases (%), materia orgánica (%), nitrógeno total (%) y clase textural.

2.6.4 Recomendaciones para revertir la eutrofización

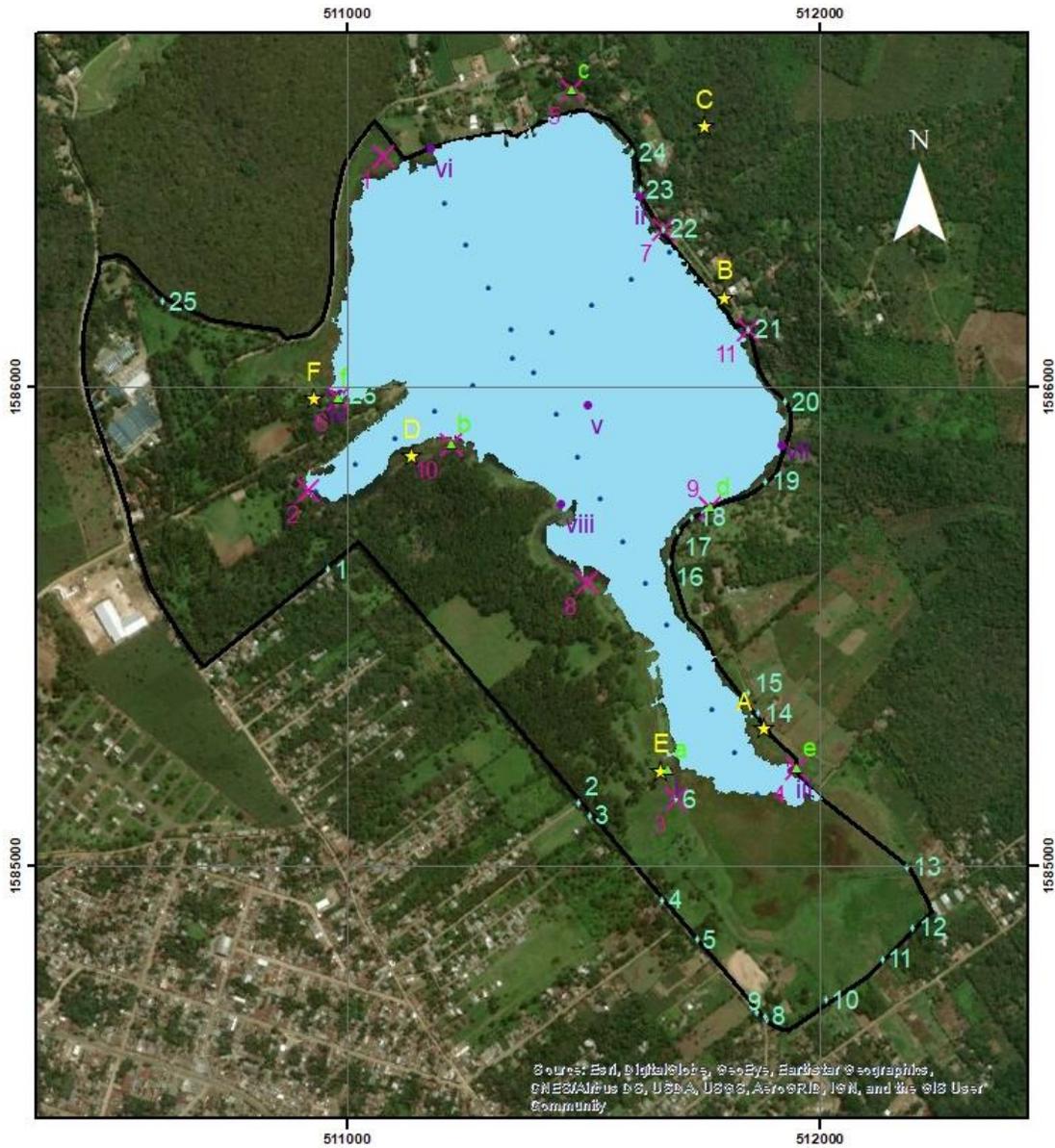
Mediante la integración de la información cuantitativa, cualitativa, bibliográfica y la obtenida en las entrevistas, acerca del área de estudio, se realizó una serie de recomendaciones para la conservación del cuerpo de agua y revertir el proceso de eutrofización.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos planteados para el estudio de eutrofización y vegetación acuática a terrestre, en el Parque Nacional Laguna El Pino, ubicado en el departamento de Santa Rosa.

2.7.1 Identificación de fuentes de contaminación

En la figura 9, se presenta el mapa de distribución de los diferentes muestreos realizados. El mapa muestra: a) localización de los focos de contaminación, b) el área donde se efectuaron las transectas, c) los puntos donde se midió la profundidad de la laguna, d) las muestras de suelos, e) sedimentos y f) puntos de muestreo de agua.



**Parque Nacional Laguna El Pino,
Santa Rosa**

Coordinate System: GTM
Projection: Transverse Mercator
Realizado por: Andrea Solombrino Véliz

Guatemala, 2019

**MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE
DIFERENTES MUESTREOS**

- Parque Nacional Laguna El Pino
- Cuerpo de agua
- Puntos de Contaminación (1, 2, 3...)
- Transectas (I, II, III...)
- Muestras de suelos (A, B, C...)
- Muestras de sedimentos (a, b, c...)
- Medición de profundidad de la laguna
- Muestras de agua (i, ii, iii...)

Fuente: elaboración propia en base a Google Earth 2019.

Figura 9. Mapa de distribución de puntos de muestreo y resultados.

Como se muestra en la figura 9, del mapa de distribución de puntos de muestreo y resultados, se identificaron 26 fuentes de contaminación. Éstas se clasificaron según su origen y características, de acuerdo con el libro de *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, de Luis Echarri (1998), esto se muestra en la segunda columna de cuadro 9.

Las fuentes localizadas de contaminación se clasifican en cuatro, siendo éstas:

- Desechos orgánicos.
- Compuestos orgánicos.
- Sedimentos y materiales suspendidos.
- Nutrientes vegetales inorgánicos.

Las casas que se encuentran de la división sociopolítica de Santa Cruz del Naranjo que están aledañas al parque, carecen de una infraestructura sanitaria y sistema de drenajes, las tuberías están expuestas, escurriendo aguas servidas que llegan mediante escurrimiento a la laguna, incrementándose este fenómeno en tiempos de lluvia. Por otra parte, a pesar de las restricciones propias de la categoría del área protegida, se encontraron restos fecales humano acumulados, y de ganado vacuno pastando. Así mismo, residuos plásticos de insecticidas y abonos cerca de los límites del parque; zanjas de escurrimiento de los pequeños caficultores, donde corre agua que lava pesticidas y fertilizantes, que al final del recorrido se depositan en la laguna.

Cabe agregar, la presión urbanística que hay, debido a diferentes “chalés” a la orilla del embalse, así mismo, viviendas cerca de los límites del parque, por la parte del límite con Barberena.

En el cuadro 9, se encuentra la clasificación de las fuentes de contaminación identificadas en los límites del parque, así mismo, dentro de éste.

Cuadro 9. Clasificación de fuentes de contaminación del cuerpo de agua.

No.*	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
1	Desechos orgánicos	Desagüe directo al parque
2	Desechos orgánicos	Entrada de agua de desagües de casas (el agua llega al parque)
3	Compuestos orgánicos	Basura en los límites del parque
4	Desechos orgánicos	Entrada del desagüe de Colonia Santa Mónica
5	Desechos orgánicos	Corriente del desagüe de C. Santa Mónica
6	Sedimentos y materiales suspendidos	Agua pestilente
7	Desechos orgánicos	Desagüe dentro del parque (origen desconocido)
8	Compuestos orgánicos	Basura dentro del parque
9	Desechos orgánicos	Tubería dentro del parque
10	Desechos orgánicos	Basura dentro del parque
11	Nutrientes vegetales inorgánicos	Zanja de entrada de aguas residuales de agricultores (graneros y cafetaleros)
12	Desechos orgánicos	Aguas residuales
13	Desechos orgánicos	Casa de polleros
14	Desechos orgánicos	Tubería de agua
15	Desechos orgánicos	(2) Tuberías de agua
16	Desechos orgánicos	Acumulación de heces de ganado
17	Desechos orgánicos	Tubería dentro de la laguna
18	Compuestos orgánicos	Pozo con basura
19	Desechos orgánicos	Tubería dentro de la laguna
20	Compuestos orgánicos	Basura en los límites del parque
21	Compuestos orgánicos	Basura dentro de la laguna
22	Compuestos orgánicos	Basura dentro de la laguna
23	Compuestos orgánicos	Basura dentro de la laguna
24	Compuestos orgánicos	Basura dentro de la laguna
25	Compuestos orgánicos	Basura en los límites del parque
26	Compuestos orgánicos	Basura dentro de la laguna

*El número corresponde a los puntos de muestreo marcados en la figura 9.

A partir de la localización de los diferentes focos de contaminación, se fue estableciendo los puntos donde se realizó las transectas, recolección de vegetación y muestras de suelo, sedimentos y agua.

Primero, los desechos orgánicos, son residuos orgánicos de origen antrópico y animal, incluyendo heces y otros tipos de materiales que pueda descomponerse por bacterias aerobias. Este tipo de contaminantes requieren de oxígeno para que puedan ser descompuestas, agotando así oxígeno que hay dentro del agua, evitando la vida de

organismos vivos que necesitan del oxígeno (Reyes 2009). Mediante el DBO y DQO se puede medir la contaminación por desechos orgánicos.

Cuando se habla de los compuestos orgánicos encontrados a los límites del parque, se refiere a la basura almacenada a las orillas, y contaminantes tales como los plásticos, aceites, gasolina, disolventes, que terminan siendo contaminación flotante y mezclada con el agua; también por detergentes usados. De acuerdo con Prando (1996), citado por Reyes (2009), se entiende que estos compuestos orgánicos pueden ser tóxicos, debido a que son capaces de producir efectos adversos o la muerte del sistema biológico.

Por otra parte, los sedimentos y materiales suspendidos son una fuente importante de contaminación (Reyes 2009). Esto se debe a que los suelos son arrastrados hacia el embalse, y éstos se van acumulando, provocando el relleno del embalse, y pantanos; la erosión de los suelos que llegan a la laguna se debe a los suelos sin cobertura vegetal y a las prácticas agrícolas que no contemplan la conservación de éstos.

Por último, los nutrientes vegetales inorgánicos se refieren a fuentes de enriquecimiento directo de la laguna de plaguicidas, pesticidas y abonos, que puedan contener nitrógeno y fósforo; siendo esta contaminación la principal causa de eutrofización, y desarrollo de algas. Este tipo de contaminantes de acuerdo con García-Gutiérrez y Rodríguez-Meza (2012), son considerados por la Agencia de Protección al Ambiente (Environmental Protection Agency (EPA)), como contaminantes de acuíferos por su alta toxicidad, persistencia y movilidad, además, sus propiedades fisicoquímicas son resistentes a la degradación biológica.

La contaminación de origen químico es principalmente por fertilizantes usados en los cultivos aledaños, así mismo, el uso de detergentes y agua de uso doméstico. Agregando también que la contaminación física visual observable es por la inmedida tira de basura dentro del cuerpo de agua, como en los límites del parque.

Cabe agregar que a través de los años ha ido incrementando la urbanización a los alrededores del parque, por lo que el desarrollo económico y productivo (cultivos de café, grama y avicultores), son todos de origen antrópico, los cuales realizan una gran presión en la laguna.

2.7.2 Estudio de la vegetación

Para el estudio de la vegetación a orillas de la laguna, se realizaron 11 transectas a los alrededores de la laguna El Pino, en donde se colectó y determinó muestras vegetales de las especies presentes en el área; dentro de las transectas se encontró un total de 34 especies, siendo éstas de hábitos herbáceos, arbustivos y arbóreos. En el cuadro 10 que se presenta a continuación, se puede observar el nombre científico, familia, su hábito y si son especies introducidas o nativas del área.

Cuadro 10. Especies vegetales encontradas en las transectas laguna El Pino, con su familia y origen.

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO	ORIGEN
<i>Salvinia minima</i> Baker	Salviniaceae	Herbácea, helecho acuático libre flotando en la superficie	Introducida
<i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpl.) H. Hara	Onagraceae	Herbácea, acuática arraigada con hojas flotantes	Introducida
<i>Eleocharis intersticta</i> (Vanl) Roem & Sht.	Cyperaceae	Herbácea, acuática anfibia	Introducida
<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	Cyperaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Mimosa pigra</i> L.	Fabaceae	Arbustivo, terrestre	Introducida
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	Poaceae	Herbácea, acuática anfibia (palustre)	Introducida
<i>Typha domingensis</i> Pers	Typhaceae	Herbácea, acuática anfibia (heleófito)	Introducida
<i>Hyptis suaveolens</i> (L)	Lamiaceae	Herbácea,	Introducida
<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC.	Asteraceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Waltheria americana</i> L.	Sterculiaceae	Arbustivo, terrestre	Nativa
<i>Egeria</i> sp.	Hydrocharitaceae	Herbácea, acuática arraigada sumergida	Introducida
<i>Egeria densa</i> Planchon, Ann.	Hydrocharitaceae	Herbácea, acuática arraigada sumergida	Introducida
<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Desmodium</i> sp.	Fabaceae	Herbácea, terrestre	Nativa

Continuación cuadro 10.

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO	ORIGEN
<i>Vervena litoralis</i> Kunth	Verbenaceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Aeschynomene virginica</i> (L.) Britton, Sterns & Poggenb	Fabaceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Rytidostylis gracilis</i> Hook. & Arn.	Cucurbitaceae	Herbácea trepadora, terrestre	Nativa
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amaranthaceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Setaria paniculifera</i> (Steud.) E. Fourn. Ex Hemls.	Poaceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	Asteraceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Eupatorium</i> sp.	Asteraceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (Juss. Ex Aubl.) CF Baker	Asteraceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Pontederiaceae	Herbácea, acuática libre flotando en la superficie	Introducida
<i>Crotalaria</i> sp.	Fabaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	Arbustivo, terrestre	Introducida
<i>Luziola peruviana</i> Juss. Ex J.F. Gmel.	Poaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	Menyanthaceae	Herbácea, acuática arraigada con hojas flotantes	Introducida
<i>Sida</i> sp.	Malvaceae	Herbácea, terrestre	Nativa
<i>Asclepias curassavica</i> L.	Apocynaceae	Arbustivo, terrestre	Introducida
<i>Alternanthera</i> sp.	Amaranthaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Centrosema</i> sp.	Fabaceae	Herbácea, terrestre	Introducida
<i>Callistemon</i> sp.	Myrtaceae	Arbóreo, terrestre	Introducida
<i>Pinus</i> sp.	Pinaceae	Arbóreo, terrestre	Nativa
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarinaceae	Arbóreo, terrestre	Introducida

En las transectas, se determinaron 34 especies, de las cuales son de 20 familias diferentes. La familia predominante es la Fabaceae, con 5 especies de ésta. De acuerdo con Rivera (1984), se determinaron en ese entonces 30 especies, de 19 familias diferentes, entre las que se comparten en la actualidad 6 especies. Además, con la vegetación del Parque Nacional Laguna El Tigre, se encuentran 4 especies iguales, tales como la *Salvinia minima* Baker, *Mimosa pigra* L., *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem & Schult. y *Typha domingensis* Pers.

Hay un total de 27 especies de estrato herbáceo, las cuales están compuestas por plantas acuáticas, de la zona pantanosa y terrestres; del estrato arbustivo hay 4 especies, de las familias Fabaceae, Apocynaceae, Sterculiaceae y Verbenaceae; por último, las especies presentes en el estrato arbóreo hay 3, de las familias Casuarinaceae, Myrtaceae y Pinaceae. La vegetación encontrada, va desde el agua hasta tierra firme, siendo un indicio de la sucesión ecológica acuática a terrestre que hay en la laguna; además, la vegetación abundante propia del área acuática y pantanosa es una de las características de los ecosistemas acuáticos eutrofizados (Rivera 1984).

Especies tales como *Pinus* sp., *Casuarina equisetifolia* L. son plantaciones forestales que se llevaron a cabo por el Instituto Nacional Forestal (INAFOR) (Valenzuela 1982). Así mismo, la *Egeria densa* Planchon, Ann y *Egeria* sp. son plantas introducidas en 1962 con el fin de proteger los peces del abuso de la pesca en la laguna, mas, con su crecimiento rápido, así mismo, con la formación de materia orgánica que forma la planta cuando se descompone, ha sido un medio favorable para el crecimiento y desarrollo de plantas superiores (Rivera 1984).

A. Índice de valor de importancia

Se calculó el índice de valor de importancia (IVI) de todas las especies presentes en las transectas, y éstas se dividieron según su estrato.

De acuerdo al IVI, la especie más representativa del estrato herbáceo es la *Salvinia minima* Baker, con un valor de importancia del 86.48, siendo una planta acuática flotante libre, encontrada en las orillas de la laguna en la mayoría de transectas; seguida de la *Typha domingensis* Pers, la cual tiene un valor de importancia de 50.62, se encuentra en las áreas pantanosas del cuerpo de agua, siendo un helófito, plantas que aseguran la transición entre las plantas acuáticas y las terrestres; por otro lado, de las especies menos representativas, se encuentran *Verbena litoralis* Kunth y *Pseudoelephantopus* sp. (1.78), seguido de *Luziola peruviana* Juss Ex. J.F.Gmel (1.82), y por último, *Setaria paniculifera* (Steud.) E. Fourn. Ex y *Alternanthera* sp., con un IVI de 1.84 ambos.

La información y detalles del IVI, se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Índice de valor de importancia de las especies herbáceas.

ESPECIE	Dreal	Creal	Freal	Drelativo	Crelativo	Frelativo	IVI (herbáceo)
<i>Salvinia minima</i> Baker	61809.09	171158.27	90.91	35.69	33.24	18	86.48
<i>Typha domingensis</i> Pers.	71645.45	2466.59	45.45	41.37	0.48	9	50.62
<i>Rytidostylis gracilis</i> Hook. & Arn.	2600.00	171000.00	9.09	1.50	33.21	2	36.47
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	13309.09	59733.33	36.36	7.69	11.60	7	26.30
<i>Eleocharis intersticta</i> (Vanl) Roem & Shtl.	9127.27	20888.06	18.18	5.27	4.06	4	12.84
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	672.73	31123.60	27.27	0.39	6.04	5	11.70
<i>Egeria densa</i> Planchon, Ann.	6236.36	608.47	27.27	3.60	0.12	5	8.98
<i>Cyperus</i> sp.	2263.64	14840.00	18.18	1.31	2.88	4	7.70
<i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpl.) H. Hara	336.36	5752.25	27.27	0.19	1.12	5	6.57
<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	409.09	4269.85	27.27	0.24	0.83	5	6.33
<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	618.18	7930.59	18.18	0.36	1.54	4	5.41
<i>Egeria</i> sp.	2254.55	1325.40	18.18	1.30	0.26	4	5.07
<i>Aeschynomene virginica</i> (L.) Britton, Sterns & Poggenb.	100.00	4519.93	18.18	0.06	0.88	4	4.44
<i>Desmodium</i> sp.	745.45	2021.24	18.18	0.43	0.39	4	4.33
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	154.55	5229.82	9.09	0.09	1.02	2	2.86
<i>Sida</i> sp.	109.09	4212.89	9.09	0.06	0.82	2	2.64
<i>Conyza</i> sp.	300.00	1830.63	9.09	0.17	0.36	2	2.28
<i>Eupatorium</i> L.	63.64	1654.55	9.09	0.04	0.32	2	2.11
<i>Centrosema</i> sp.	27.27	1555.76	9.09	0.02	0.30	2	2.07
<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC.	109.09	1020.00	9.09	0.06	0.20	2	2.02
<i>Hyptis suaveolens</i> (L)	63.64	406.64	9.09	0.04	0.08	2	1.87
<i>Crotalaria</i> sp.	18.18	447.55	9.09	0.01	0.09	2	1.85
<i>Alternanthera</i> sp.	36.36	336.93	9.09	0.02	0.07	2	1.84
<i>Setaria paniculifera</i> (Steud.) E. Fourn. Ex	54.55	280.23	9.09	0.03	0.05	2	1.84
<i>Luziola peruviana</i> Juss. Ex J.F. Gmel.	63.64	145.79	9.09	0.04	0.03	2	1.82
<i>Vervena litoralis</i> Kunth	36.36	48.36	9.09	0.02	0.01	2	1.78
<i>Pseudoelephantopus</i> sp.	9.09	92.53	9.09	0.01	0.02	2	1.78
TOTALES	173172.73	514899.23	518.18	100.00	100.00	100	300.00
NÚMERO DE UNIDADES MUESTREALES	11						

En el estrato herbáceo, la *Salvinia minima* Baker es la planta más representativa del estrato, obteniendo un 86.48 del IVI, siendo una macrófita libremente flotante, que de

acuerdo con Roldán (1992), citado por Pinilla (2000), la *Salvinia* sp. son indicadores biológicos de contaminación, plantas acuáticas características de aguas poco profundas, cálidas, y con indicios de eutrofización; incrementa a temperaturas de 30 °C, luz solar directa y una alta concentración de nutrientes, bajo condiciones ideales puede duplicarse cada dos a cinco días (Pérez-Vásquez *et al.* 2015).

La segunda especie más representativa está la *Typha domingensis* Pers con un 50.62, encontrada en zonas pantanosas hacia el agua, especie que según Roldán (1992) citado por Pinilla (2000), es resistente a aguas salobres y presente en aguas someras, aparte, su abundancia es favorecida en humedales impactados por la carga de nutrientes de las actividades humanas y la erosión del suelo (Morales 2001).

En tercer lugar, encontramos *Rytidostylis gracilis* Hook. & Arn. con un IVI de 36.47, una planta del estrato herbáceo que puede ser rastrera o trepadora, que es común en áreas perturbadas y húmedas (Hooker y Arnott s. f.).

La *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees se encuentra en el cuarto lugar del índice de valor de importancia, que muestra una representatividad de 26.30, son plantas que se encuentran en la zona pantanosa, yendo hacia la laguna.

De acuerdo con Morales (2001), en donde hay sedimentos con alta conductividad son dominados por *Eleocharis intersticta* (Vanl) Roem & Shlt. debido a la adaptabilidad de esta especie a estas condiciones, encontrándose en el quinto lugar del IVI (12.84).

La *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms es un hidrófita flotante, que en la laguna El Pino presenta un IVI de 11.70, que se presenta en aguas eutrofizadas, con poca corriente (Pinilla 2000), considerada como una de las especies más invasoras en el mundo por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN); es una planta que altera drásticamente el ecosistema, reduciéndola biodiversidad de éste (Gobierno de México 2015).

En los lugares 7 y 12 del IVI, se encuentra *Egeria densa* Planchon, Ann. y *Egeria* sp. respectivamente con una representatividad de 8.98 y 5.07, plantas macrófitas, que de acuerdo con Salazar y Díez (1987), citado por Pinilla (2000), son plantas macrófitas que indican sucesión vegetativa de agua a tierra, aparte, cuando estas plantas mueren, al momento de su descomposición forman una gran cantidad de materia orgánica, la cual

sirve como sustrato y medio favorable para el desarrollo de plantas superiores, provocando con ello la aceleración del proceso de sucesión ecológica acuática (Sunun 2014).

Se prevé que, si no existe un control o manejo adecuado de la vegetación acuática, ésta seguirá creciendo de manera acelerada y cubrirán la mayor parte de la laguna, evitando así el intercambio de gases, la penetración de la luz, y el incremento de materia orgánica por descomposición; las especies que predominaría serían principalmente de *Salvinia minima* Baker, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Egeria densa* Planchon, Ann. y *Egeria* sp. Así también, plantas transitorias tales como *Typha domingensis* Pers, *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees.

En el cuadro 12, se muestra el índice de valor de importancia calculado de las plantas arbustivas, donde se muestra que tiene mayor representatividad es la *Mimosa pigra* L. con 279.92 de valor de importancia, seguido de *Lantana cámara* L. (10.41), *Waltheria americana* L. (9.67) y *Asclepias curassavica* L. (8.91).

Cuadro 12. Índice de importancia de las especies arbustivas.

ESPECIE	Dreal	Creal	Freal	Drelativa	Crelativa	Frelativa	IVI (arbustivo)
<i>Mimosa pigra</i> L.	2590.91	79691.58	90.91	97.27	99.32	83.33	279.92
<i>Lantana camara</i> L.	54.55	23.18	9.09	2.05	0.03	8.33	10.41
<i>Waltheria americana</i> L.	18.18	525.82	9.09	0.68	0.66	8.33	9.67
<i>Asclepias curassavica</i> L.	9.09	186.55	9.09	0.34	0.23	8.33	8.91
TOTALES	2663.64	80240.58	109.09	100.00	100.00	100.00	300.00
NÚMERO DE UNIDADES MUESTREALES	11						

En el estrato arbustivo se encuentran 4 especies, en donde la *Mimosa pigra* L. tiene la mayor representatividad (279.92), siendo una planta invasora en humedales, se encuentra en zonas perturbadas, aparte de ser una especie tolerante a sobrevivir en condiciones de inundación, y de sequía (Morales 2001); ésta se disemina principalmente por el agua y las actividades antropogénicas (Maddox *et al.* s. f.), encontrándose más en época seca.

Lantana camara L. es la especie que le sigue, con un 10.41, siendo una planta invasiva de zonas con degradación y perturbaciones.

En tercer lugar, está *Waltheria americana* L. es la tercera planta del estrato arbustivo más representativa, contando con un 9.67, que es común en áreas perturbadas, como también a orillas de ecosistemas de agua dulce (Silva Bátiz *et al.* 2008).

Por último, se encuentra *Asclepias curassavica* L. con un 8.91 del índice de valor de importancia; es una planta puede considerarse tóxica, y es una especie indicadora de concentración de metales pesados y que se absorbe mediante la raíz (Noriega-Luna *et al.* 2016).

En el estrato arbustivo, se representa únicamente por 3 especies, las cuales en el cuadro 13, se detalla su respectivo índice de valor de importancia.

Cuadro 13. Índice de valor de importancia de las especies arbóreas.

ESPECIE	Dreal	Creal	Freal	Drelativa	Crelativa	Frelativa	IVI (arbóreo)
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	18.18	1582.62	18.18	40.00	41.42	50.00	131.42
<i>Callistemon</i> sp.	18.18	1433.13	9.09	40.00	37.51	25.00	102.51
<i>Pinus</i> sp.	9.09	805.30	9.09	20.00	21.08	25.00	66.08
TOTALES	45.45	3821.04	36.36	100.00	100.00	100.00	300.00
NÚMERO DE UNIDADES MUESTREALES	11						

En el estrato arbustivo se encuentran tres especies, primero la *Casuarina equisetifolia* L. con 131.42, seguido de *Callistemon* sp. con una representatividad del 102.51, por último, el *Pinus* sp. con un IVI de 66.08. La *Casuarina equisetifolia* L. y *Pinus* sp. son parte de la plantación establecida dentro del parque hacía ya varios años atrás.

Continuación cuadro 14.

ESPECIE/TRANSECTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Luziola peruviana</i> Juss. Ex J.F. Gmel.	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0
<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	0	0	0	0	0	32	8	0	5	0	0
<i>Sida</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
<i>Asclepias curassavica</i> L.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Alternanthera</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Centrosema</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Callistemon</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Pinus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
TOTAL DE PLANTAS	1917	2468	2783	361	2606	84	867	2080	313	4282	1587
TOTAL DE SP/TRANSECTA	8	3	5	6	5	8	6	9	7	8	9
TOTAL DE SP	34										

En la transecta 6, es donde el índice de Shannon Wiener nos indica que se encuentra la mayor diversidad, siendo de 1.78, y teniendo un índice de equidad de 0.05; en la ésta se observan las especies del estrato arbóreo tal como la *Casuarina equisetifolia* L., arbustivo como la *Mimosa pigra* L., y herbáceos, tales como *Salvinia minima* Baker y *Verbena litoralis* Kunth. La segunda transecta que presenta mayor índice de diversidad, con un 1.41, es la transecta 11, siendo también la segunda que presenta mayor porcentaje del índice de equidad de Pielou ($J' = 0.04$); cuenta con un total de 9 especies, siendo éstas de hábito herbáceo y arbustivo. Por otra parte, en la transecta 5 ($H' = 0.18$) y 3 ($H' = 0.23$), son en donde existe una menos diversidad de especies, encontrándose únicamente 5 especies en cada una.

En el cuadro 15, se muestra el resultado de los cálculos del índice de diversidad de Shannon Wiener (H') y de equidad de Pielou (J'), de cada transecta.

Cuadro 15. Resumen del índice de diversidad de Shannon Wiener (H') y del índice de equidad de Pielou (J').

No. TRANSECTA	H'	J'
1	0.95	0.03
2	0.39	0.01
3	0.23	0.01
4	1.39	0.04
5	0.18	0.01
6	1.78	0.05
7	1.08	0.03
8	1.11	0.03
9	1.09	0.03
10	0.82	0.02
11	1.41	0.04

El índice de Shannon Wiener, permite visualizar en cual área de estudio se encontró mayor diversidad de la comunidad vegetativa. La transecta 6 presenta mayor diversidad de especies, teniendo un 1.78 del índice Shannon Wiener, y el índice de equidad de Pielou es del 0.05, indicando que no todas las plantas presentes son igual de abundantes en el área; la transecta cuenta con 84 plantas en total, provenientes de 8 especies diferentes, del estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo; la transecta se encuentra cerca de la administración del parque, en donde los sedimentos presentan la mayor concentración de fósforo (14.66 ppm), y la menor presencia de nitrógeno total (0.09 %).

La segunda área que presenta mayor diversidad está en la transecta 11, con un índice de Shannon Wiener de 1.41, y con el índice de equidad de Pielou 0.04; con especies de estrato herbáceo en su mayoría, y del estrato arbustivo contando con *Mimosa pigra* L.; la transecta se encuentra entre los colindando con los cultivos de grama, en donde en las muestras de agua, presentan fósforo total de 0.90 mg/L.

Las transectas que obtuvieron menor diversidad, son la 5 ($H' = 0.18$), y 3 ($H' = 0.23$); por otra parte, del índice de equidad 5 ($J' = 0.01$) y 3 ($J' = 0.01$), dejando evidente que no todas las especies presentes en la transecta son igual de abundantes. La transecta 5, forma parte de una finca, en donde se puede atribuir que la actividad humana y agraria hace que disminuya la diversidad existente, siendo un área donde sus sedimentos presentan un 0.29 % de nitrógeno total, y 4.09 % de materia orgánica; por otra parte, la

transecta 3, tiene la presencia de los sedimentos ácidos (5.70 upH), que puede limitar el desarrollo de las plantas herbáceas macrófitas.

De acuerdo con el tesis de *Vegetación acuática del Parque Nacional Laguna Del Tigre* de Morales (2001), se obtuvieron altos índices de Shanon Wiener, variando éstos de 1.86 a 3.58 (en la laguna). En lo que se puede considerar que existen valores altos debido a que se enfoca principalmente en plantas acuáticas, y plantas ribereñas que son adaptables a inundaciones; además, se concentra en 6 puntos de muestreo, siendo 3 bandas de muestreo; por último, está conformada por varias lagunetas, las cuales tienen entradas de diversos ríos.

b. Índice de biodiversidad vegetal beta: distancia euclidiana

La distancia euclidiana nos muestra la homogeneidad o heterogeneidad de las transectas realizadas. Las transectas realizadas se tomaron en diferentes épocas (seca y lluviosa), y de acuerdo con Rial (2006), citado por Pérez-Vásquez *et al.* (2015), la variación en el nivel del agua de la laguna influye en mayor medida sobre la riqueza y abundancia de las comunidades vegetativas acuáticas.

En el cuadro 16, se presenta la matriz de distancia cuantitativa, calculada por medio de la distancia euclidiana.

Cuadro 16. Matriz de distancia euclidiana.

TRANSECTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0										
2	2338	0									
3	2889	590.2	0								
4	1176	2124	2627	0							
5	2014	3333	3668	2528	0						
6	1275	2171	2656	189.4	2521	0					
7	1374	1897	2367	456.7	2578	538.2	0				
8	1406	2540	2948	1338	1880	1325	1425	0			
9	1295	2119	2601	239.5	2530	212.5	540	1341	0		
10	2578	3070	3256	3101	1232	3108	3033	2482	3092	0	
11	1082	2103	2549	885.7	1779	895.2	886.7	1053	901.2	2305	0

En la figura 10, se presenta dendrograma elaborado a partir de la matriz de distancia euclidiana, utilizando promedios ponderados.

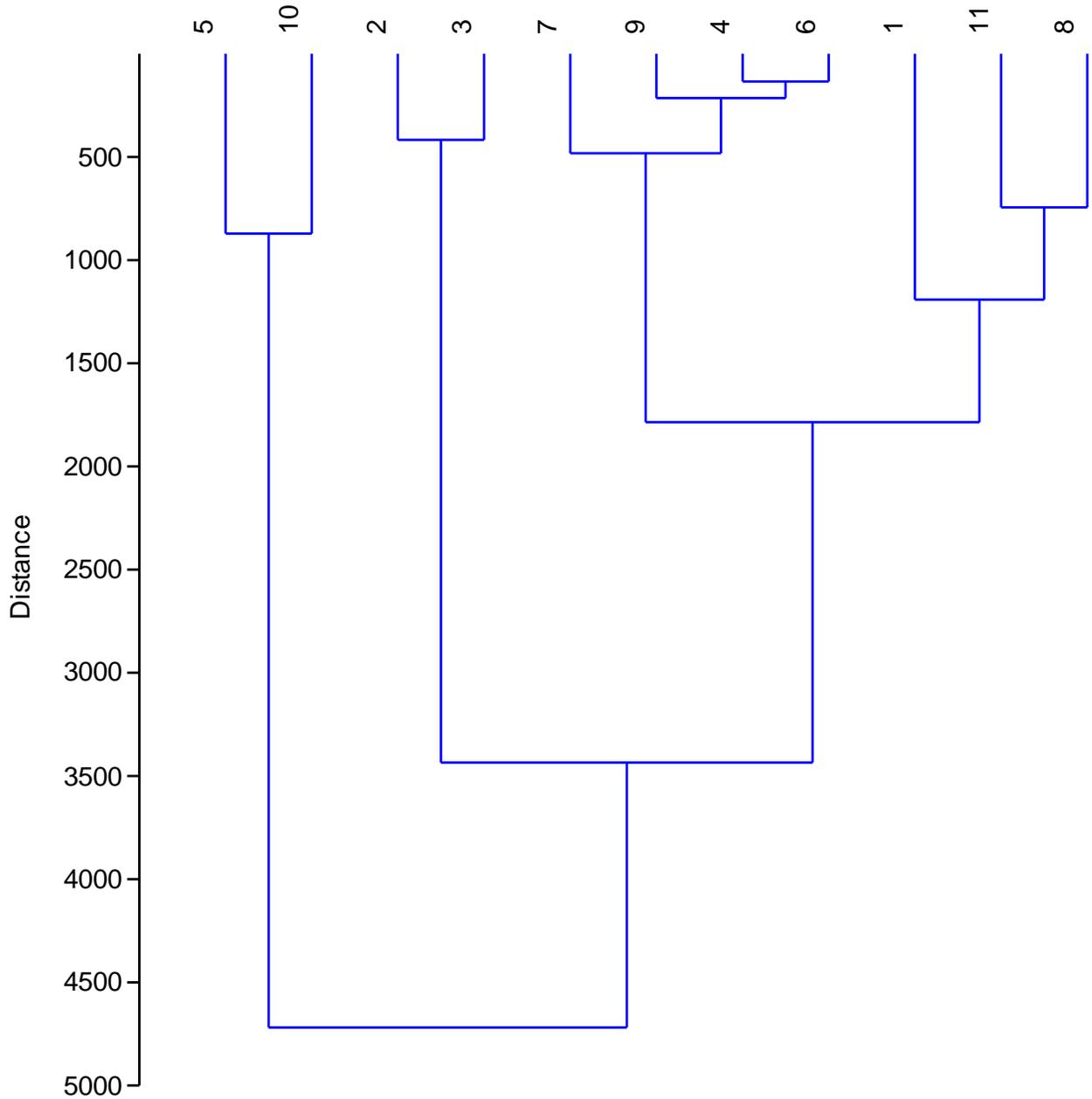


Figura 10. Dendrograma de transectas, por medio de promedios ponderados.

Tal como se muestra en la matriz de distancia euclidiana en el cuadro 16 y se grafica en dendrograma de la figura 10, la cual tiene una escala de 0 cuando no hay diferencia entre las especies de las transectas; a 5,000. Muestra al nivel de corte de 5,000.

Con el análisis clúster se visualizan cuatro grupos (figuras 11, 12, 13 y 14):

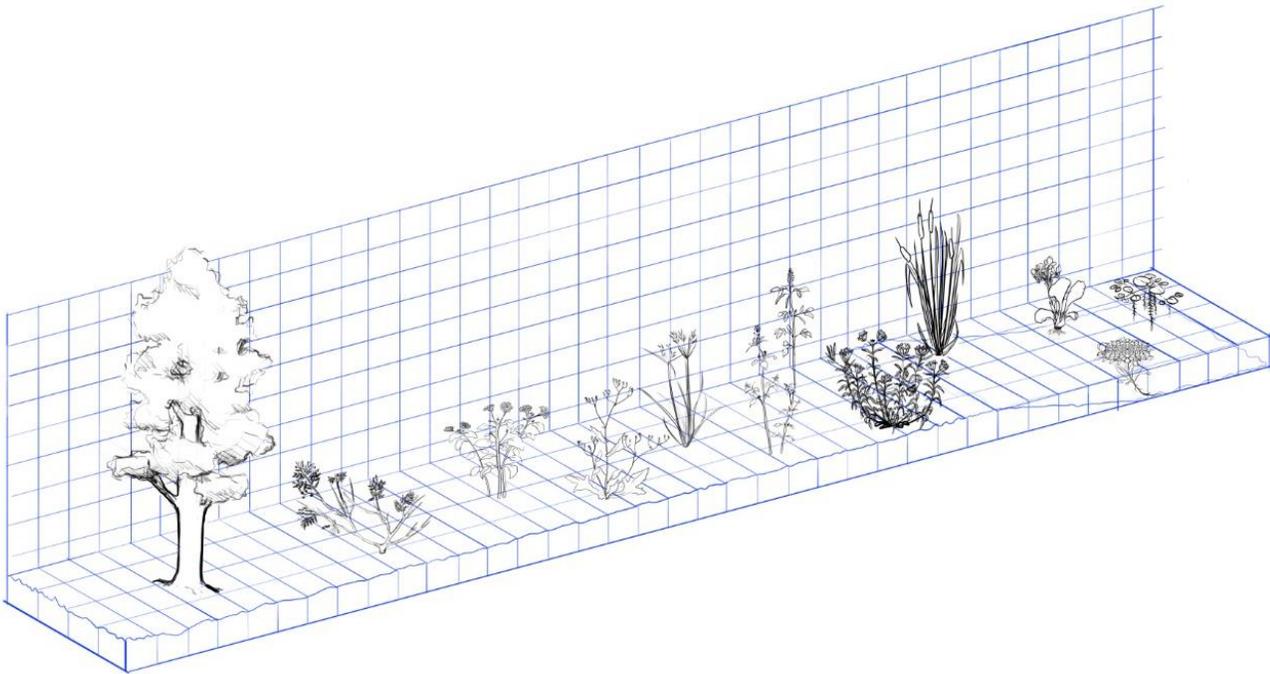


Figura 11. Perfil florístico del primer grupo de transectas.

En el primer grupo están las transectas que tienen el mayor distanciamiento, siendo la 5 y la 10, cuentan con una especie en común, siendo esta la *Typha domingensis* Pers. Las muestras de sedimentos cercanas a este grupo presentan los valores más altos de nitrógeno total, con un valor promedio de 0.20 %, presentando en una de las áreas un 4.09 % de materia orgánica presente; así mismo, las muestras de agua de los alrededores presentan promedio de 0.55 mg/L de nitrógeno total, y 0.75 mg/L de fósforo total.

Como se puede observar en la figura 11, la composición florística de este grupo está conformada por *Pinus* sp., *Mimosa pigra* L., *Emilia sonchifolia* (L) DC., *Cyperus* sp., *Eichornia crassipes* (Mart) Solms, *Ludwigia sedoides* (Bonpl.) H. Hara y *Salvinia minima* (Baker).

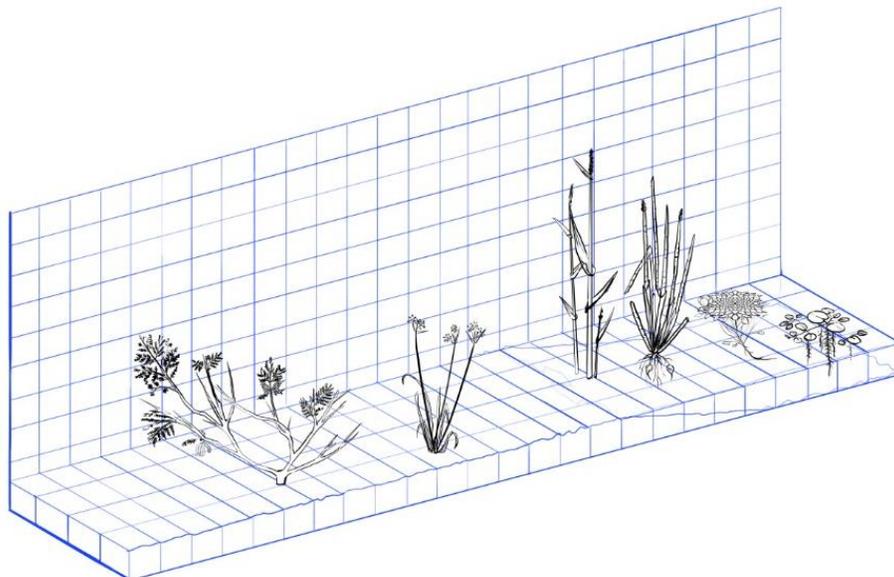


Figura 12. Perfil florístico del segundo grupo de transectas.

El segundo grupo es de la transecta 2 y 3, teniendo en común dos especies (*Salvinia minima* Baker y *Mimosa pigra* L.), y un total de 3 especies y 5, correspondientemente. Las muestras de sedimentos correspondientes a estas áreas presentan un pH ácido de 5.70, y una carga contaminante por aguas residuales, y una cobertura superficial del agua de *Salvinia minima* Baker.

Su composición florística está formada por *Mimosa pigra* L., *Cyperus surinamensis* Rottb., *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees, *Eleocharis intersticta* (Vanl) Roem & Sht., *Ludwigia sedoides* (Bonpl.) H. Hara y *Salvinia minima* (Baker) (figura 12).

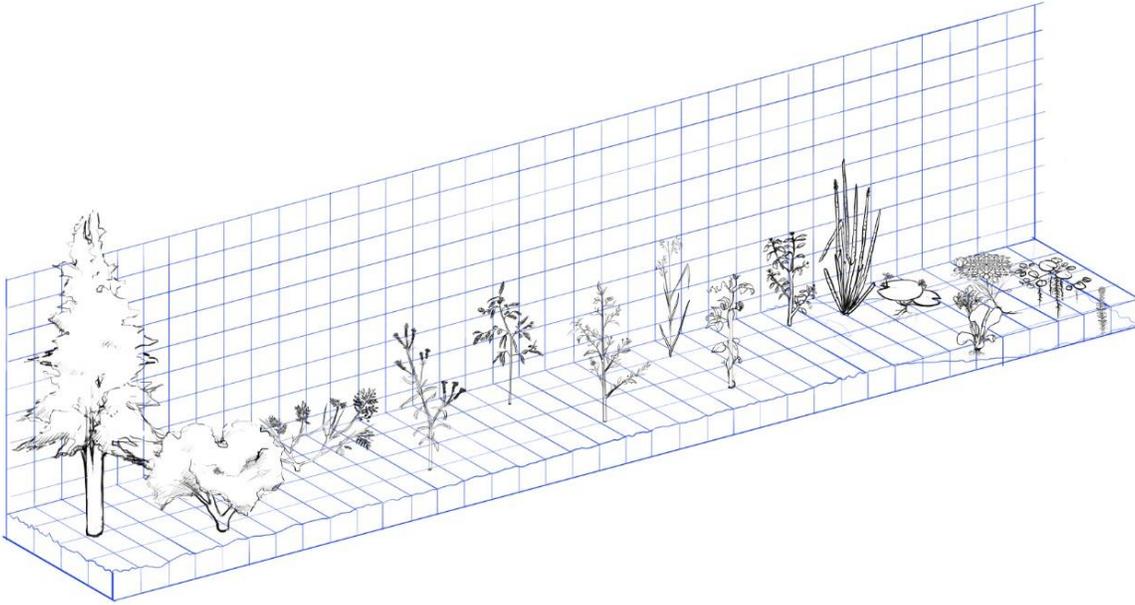


Figura 13. Perfil florístico del tercer grupo de transectas.

El tercer grupo está constituido por la transecta 4 y 6, seguido de la 9, y por último de la 7, la mayoría de las unidades de estudios se encuentran a los límites de la laguna; donde, la transecta 4 y 6, los sedimentos cercanos a las transectas cuentan con promedio 0.10 % de nitrógeno total, y 1.84 % de materia orgánica; seguido, en la transecta 7, hay una concentración de 0.90 mg/L de fósforo en el agua; y en la transecta 9, el fósforo total en sedimentos es de 10.26 ppm, siendo el segundo más alto.

En este grupo cuenta con la *Casuarina equisetifolia* L., *Callistemon* sp., *Verbena litoralis* Kunth, *Aeschynomene virginica* (L.) Britton, Sterns & Poggenb, *Luziola peruviana* Juss. Ex J.F. Gmel, *Centrosema* sp., *Alternanthera* sp., *Nymphoides indica* (L.) Kuntze, y *Egeria* sp. (figura 13).

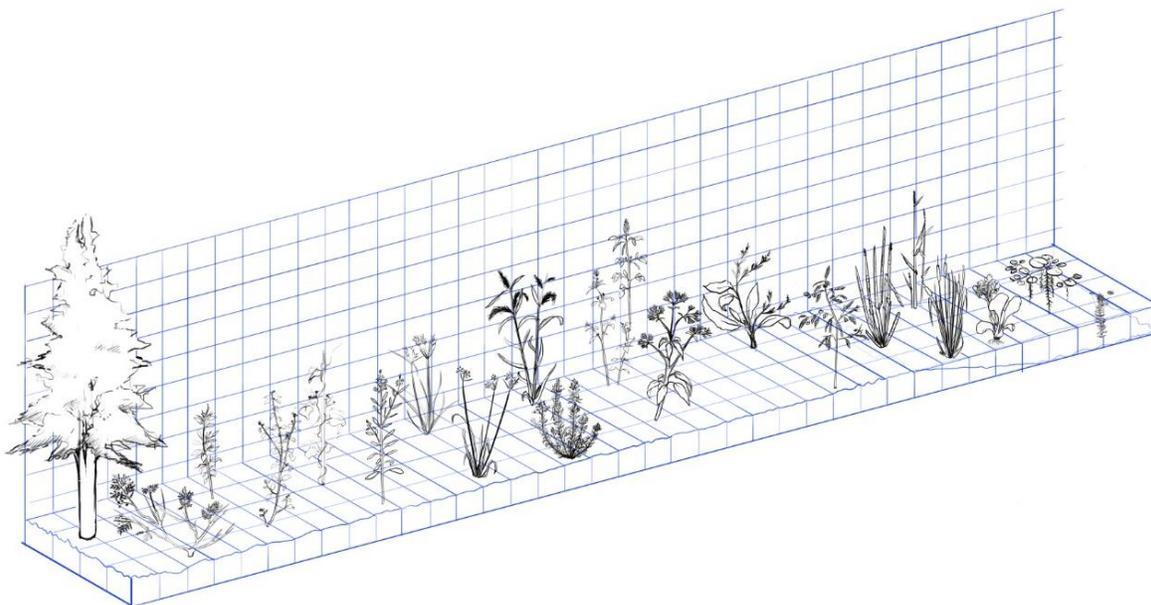


Figura 14. Perfil florístico del cuarto grupo de transectas.

Por último, el cuarto grupo está formado por las transectas 8 y 11, seguido de la 1. La transecta 8 y 11 cuentan con 9 especies cada una; y la transecta 1 tiene 7 especies. Las muestras de aguas tomadas cerca de estas muestras son las que presentan una mayor demanda bioquímica de oxígeno (promedio de 72.50 mg/L), indicando que poseen un alto contenido de materia orgánica; así también, la demanda química de oxígeno que tienen es promedio de 90 mg/L.

Este grupo tiene la presencia de *Casuarina equisetifolia* L., *Mimosa pigra* L., *Amaranthus spinosus* L., *Waltheria americana* L., *Rytidostylis gracilis* Hook. & Arn., *Crotalaria* sp., *Cyperus* sp., *Setaria paniculifera* (Steud.) E. Fourn Ex., *Conyza* sp., *Eupatorium* sp., *Eleocharis intersticta* (Vanl) Roem & Shlt., *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees, *Typha domingensis* Pers, *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms y *Egeria densa* Planchon, Ann (figura 14).

La distancia euclidiana muestra lo heterogéneas que se presentan las transectas, y esto se debe a la diversidad florística que existe en el parque, además, representa la existencia de micro zonas de distribución de especies dentro de la comunidad vegetativa; mucha de la vegetación presente es indicadora de contaminación, perturbación por actividades antropogénicas y de eutrofización.

La ubicación de las transectas, se muestran en la figura 9.

2.7.3 Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna

A. Agua

a. Profundidad de la laguna

Para conocer el efecto que el ingreso de sedimentos tiene sobre la laguna, se realizó la medición de la profundidad de la laguna en época lluviosa (septiembre), evidenciándose un aumento en el nivel del agua, asumiendo que por las lluvias se incrementa la profundidad 1 m, aproximadamente.

A continuación, se muestran los resultados de la medición de la profundidad de la laguna. En la figura 15 se presentan las profundidades obtenidas de la trayectoria de Oeste a Este; y en la figura 16, se observan las profundidades del tramo de Sur a Norte.

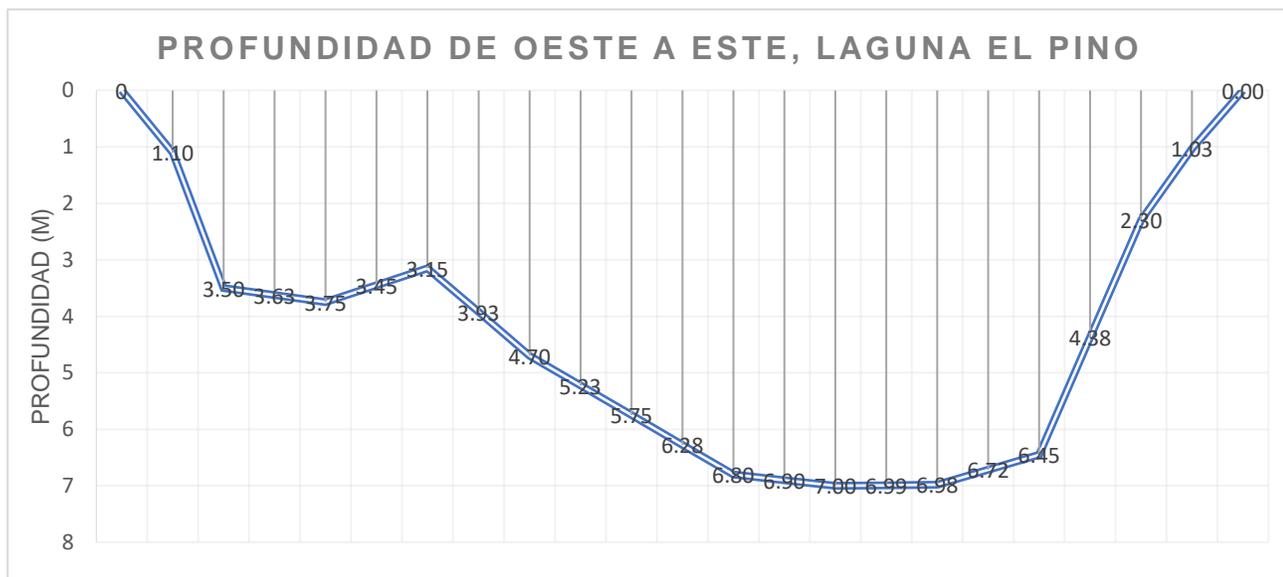


Figura 15. Medición de la profundidad de la laguna, trayecto de Oeste a Este.

proceso de eutrofización, está la poca profundidad (Moreno *et al.* 2010). Es decir, que los cuerpos de agua que presentan menores profundidades, son más fértiles que los profundos (Rivera 1984).

b. Análisis de muestras de agua

Se realizaron un total de 8 análisis de laboratorio de agua, en donde se estimaron los valores de conductividad, sólidos sedimentados, sólidos en suspensión, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, aceites, grasas y color.

Todas las muestras de agua presentan un pH de neutro a básico, oscilando entre 7 upH y 8 upH. La muestra 6 es en la que se observa el pH más elevado, siendo de 8.60 upH, por otra parte, el pH con resultados neutros es de 7.36 upH de la muestra 2. En conductividad, la muestra 2 presenta el mayor valor, siendo éste de 73.30 mS/cm, por otra parte, en la muestra 1 posee el menor valor, siendo de 70.10 mS/cm.

Las muestras 1 y 4, presentan mayor cantidad de sólidos sedimentables, siendo de 0.50 mL/L; seguido de 0.40 mL/L, de la muestra 6; y 0.10 mL/L propio de las muestras 2, 3, 7 y 8, presentándose como los valores más bajos obtenidos en sólidos sedimentables.

En las muestras 7 y 8, no presentan sólidos en suspensión, mas, en la muestra 2 tiene el valor más alto del parámetro, siendo de 12 mg/L. Sólidos totales presenta el valor mayor de 30 mg/L, correspondiente de la muestra 7, seguido de la muestra 8 que presenta 29 mg/L.

El fundamento biológico del DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos presentes en la muestra de agua requieren para consumir materia orgánica presente en un intervalo de cinco días, potenciando su acción a través de los nutrientes; en este parámetro, se obtuvo los valores superiores en la muestra 6, siendo de 76 mg/L, por contrario en la muestra 1 es de 29 mg/L. Por otra parte, la DQO es la cantidad de materia oxidable presente en la muestra de agua, tanto orgánica como inorgánica; los resultados de ésta oscilan entre 80 mg/L a 130 mg/L, donde la muestra 5 presenta el mayor valor, siendo la muestra extraída del centro de la laguna.

En nitrógeno total, todas las muestras tienen un valor <0.50 mg/L, excepto por la muestra 6 que presenta un resultado de 0.60 mg/L.

El fósforo en su forma elemental es particularmente tóxico y es sujeto de bioacumulación por mucho, al igual que el mercurio. El fósforo en forma de fosfatos es uno de los elementos más necesitados para la vida y la nutrición vegetal; las altas concentraciones de éste estimulan el crecimiento de las plantas, viéndose así afectado el ecosistema acuático, por la demanda de oxígeno que provocarían. Mediante el fósforo total se permite evaluar las cantidades totales de éste que se encuentran en forma orgánica e inorgánica. En las muestras 2 y 3, se encontraron las concentraciones más altas de fósforo total, siendo de 0.90 mg/L, y las concentraciones menores (<0.50 mg/L) en las muestras 5 y 8.

La mayor concentración de grasas y aceites se percibe en la muestra 5, siendo de 38 mg/L; y en la muestra 1, se encuentra la menor concentración (4 mg/L).

En el cuadro 17, se detallan los resultados del análisis de agua.

Cuadro 17. Resultados de los análisis de agua de laguna del Pino.

No.	pH	mS/cm	mL/L	mg/L				
		Conduc-tividad	Sólidos sedimentables	Sólidos en suspensión	Sólidos totales	DBO	DQO	Nitrógeno total
LMP	6.5-8.5 ¹	----	----	10-40 ²	1,000-5,000 ³	10-30 ²	60 ⁴	0.35-0.66 ⁵
1	7.43	70.10	0.50	N.D.	26.00	29.00	80.00	< 0.50
2	7.36	73.30	0.10	12.00	25.00	49.00	100.00	< 0.50
3	7.53	40.40	0.10	N.D.	12.00	50.00	90.00	< 0.50
4	7.41	71.40	0.50	N.D.	18.00	46.00	110.00	< 0.50
5	7.46	72.00	N.D.	N.D.	23.00	49.00	130.00	< 0.50
6	8.60	71.00	0.40	4.00	24.00	76.00	90.00	0.60
7	8.58	70.90	0.10	0.00	30.00	67.00	110.00	< 0.50
8	8.36	70.90	0.10	0.00	29.00	69.00	90.00	< 0.50

Continuación del cuadro 17.

No.	mg/L		Unidades PT - Co
	Fósforo total	Aceites y grasas	Color
LMP	0.02-0.10²	10⁴	5-10³
1	0.80	4.00	10.00
2	0.90	8.00	2.00
3	0.90	6.00	1.00
4	0.80	14.00	15.00
5	< 0.50	38.00	2.00
6	0.70	18.00	1.00
7	0.80	16.00	1.00
8	< 0.50	12.00	2.00

Fuente: Los límites máximos permisibles fueron tomados de ¹ EPA 1986, ² MARN 2011, Pérez 2007, ³ Pérez 2007, ⁴ MARN 2011, y ⁵ Pérez 2003.

Donde:

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno;

DQO = Demanda química de oxígeno;

N.D. = No determinado.

Para un desarrollo óptimo de la actividad biológica acuática en cuerpos de agua dulce, el pH debe oscilar entre 6.50 upH a 8.50 upH (EPA 1986). Las muestras indican que en su mayoría hay un pH neutro, llegando a básico. Mas, en las muestras 6, y 7, se presenta un pH mayor al rango permisible. En el punto 6 y 7 (figura 9), existe la presión urbanística, ya que las casas se encuentran muy cerca del cuerpo de agua; agregando que en el punto 6, está dentro de un área privada que forma parte de una finca; y en el punto 7, se encuentra en medio de dos puntos de contaminación (desechos orgánicos y compuestos orgánicos). En el punto 8, estando cerca del límite permisible, es un área donde gente aledaña al parque, lava ropa, se duchan o bañan a sus mascotas, dejando residuos de detergentes y jabones, alcalinizando parte del cuerpo de agua.

De acuerdo con el estudio realizado por Calderón y Vinicio (1997), en la Laguna El Pino, obtuvieron valores de pH entre el rango de 5.70 upH y 6.10 upH.

No hay un rango permisible para la conductividad del agua, debido a está estrechamente relacionada con el pH, la temperatura, la composición y material geológico, entre otras condiciones que pueden afectar en la solubilidad. La mayoría de los puntos presentan datos que oscilan entre 70.10 mS/cm a 73.30 mS/cm; excepto en la muestra 3, donde presenta la conductividad más baja, siendo de 40.40 mS/cm, reflejándose una menor cantidad de sales disueltas. Cabe agregar que todas las muestras se tomaron en época lluviosa, por lo que los valores están fuertemente vinculados con las precipitaciones, debido a que favorece a la disolución de minerales, así también se favorece la escorrentía, enriqueciendo así al cuerpo de agua.

Los valores más altos de conductividad obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la laguna, indican una interacción entre las partículas suspendidas o disueltas en la interfase agua sedimento, con la adsorción de sustancias orgánicas (Agudelo *et al.* 2013).

De acuerdo con MARN (2011) y Pérez (2007), los sólidos en suspensión tienen un intervalo permisible de 10 mg/L a 40 mg/L, y de acuerdo con los resultados de éstos, no se determinaron en las muestras, o bien, están bajo o dentro del rango permisible. Así mismo, los sólidos en suspensión y sólidos sedimentables aumentan la demanda de oxígeno para los procesos oxidativos en la laguna (Martínez 2006).

El rango de los límites máximos permisibles de sólidos totales es de 1,000 mg/L a 5,000 mg/L, en donde ninguna de las ocho muestras si quiera superaron los 30 mg/L.

El máximo permisible de DQO es de 60 mg/L (MARN 2011), en donde todas las muestras de agua sobrepasan este valor. Los datos varían de 80 mg/L a 130 mg/L. La mayor parte de las orillas del parque tiene una relación con la vegetación, tanto acuática como la que está en las áreas pantanosas; mas, la muestra 5 (figura 9) es la muestra que fue tomada en el centro de la laguna, en donde efectivamente hay presencia de vegetación acuática, principalmente de *Egeria densa* Planchon, Ann. y de *Egeria* sp.; cabe agregar que también por carecer la laguna de entradas y/o salidas superficiales, se le dificulta la aireación natural, afectándose principalmente las áreas medias y con mayor profundidad de ésta.

El rango permisible de la DBO es de 10 mg/L a 30 mg/L (MARN 2011, Pérez 2007), donde todas las muestras de agua superan este valor, exceptuando la muestra 1, que tiene un

requerimiento de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica de 29 mg/L de DBO; el resultado obtenido en esta muestra está dentro del rango manejado, más para la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobrepasa por mucho el límite máximo permisible que se maneja para fuentes de agua, el cual es de 6 mg/L (Reyes 2009). Por otra parte, las demás muestras sobrepasando el rango, en donde los datos oscilan entre 46 mg/L a 76 mg/L de DBO.

El nitrógeno como tal, es un elemento necesario para la vida acuática, siendo un componente esencial para cada organismo que se desarrolla en ecosistemas acuáticos, debido a que es un elemento biogénico que se encuentra mayormente en proteínas. El nitrógeno es un elemento que asimilan las algas y plantas macrófitas, con la presencia excesiva del nitrógeno se prolifera el crecimiento de éstas, aumentando así el consumo de oxígeno, con este tipo de condiciones reductoras que puede llegar a ser predominante, lo que puede resultar como la degradación del ecosistema acuático. Así también, este elemento puede establecerse como un factor clave del proceso de eutrofización.

De acuerdo con Machorro (1996), citado por Pérez *et al.* (2003), concentraciones de 0.35 a 0.66 mg/L son características de lagos eutróficos. Y de acuerdo con Martínez (2006) los ecosistemas acuáticos que tienen objetivos de conservación no deben superar los 10 mg/L de nitrógeno total, y como se puede observar en el cuadro de resultados de los análisis de agua (cuadro 17), ninguno de los muestreos supera dicho valor, teniendo las muestras variaciones de <0.50 mg/L a 0.60 mg/L, mas, se encuentran en un intervalo donde ya se considera que el cuerpo de agua está pasando un proceso de eutrofización.

El valor más alto es 0.60 mg/L, propio de la muestra 6. Esta muestra fue tomada en una parte privada de la laguna, que pertenece a una finca aledaña. La concentración de nitrógeno dentro de la laguna se puede ver estrechamente relacionada con la descarga de desechos domésticos, el uso de agroquímicos y detergentes.

De acuerdo con Machorro (1996), citado por Pérez *et al.* (2003), un rango entre 0.020 a 0.100 mg/L de fósforo total son indicativos de un estado eutrófico, así mismo, la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA), determina una concentración de 0.10 µg/L (equivalente a 0.0001 mg/L) (EPA 1986). Como se puede observar en el cuadro de

resultados de los análisis de agua (cuadro 17), todas las muestras presentan valores mayores a éste, los datos obtenidos oscilan entre <0.50 mg/L a 0.90 mg/L.

En las muestras 2 y 3 se obtuvo la concentración más alta de fósforo total, siendo ambos puntos límites del parque. La muestra 2 está cerca de las poblaciones; y en la muestra 3 está colindando con los cultivos de grama. Las muestras que presentan los valores de <0.50 mg/L, son propios de la muestra 5 y 8: la muestra 5 se localiza en el centro de la laguna, y la muestra 8, es la que se encuentra más cerca del área boscosa del parque. El fósforo tiene diferentes fuentes de origen antrópico en la laguna, que van desde las aguas servidas, el lavado de los suelos agrícolas, hasta el uso de detergentes. Las concentraciones de fósforo están asociadas con la eutrofización de las aguas, y crecimiento desmedido de plantas nocivas para la vida acuática.

Los aceites y grasas tienen no deben de sobrepasar los 10 mg/L (MARN 2011). Como se puede observar en el cuadro de resultados de los análisis del agua (cuadro 17), seis de los puntos de muestreo tienen valores arriba del límite permisible. Los datos obtenidos varían de 4 mg/L a 38 mg/L, en donde la mayor cantidad de grasas y aceites se localiza en el centro de la laguna (muestra 5, con 38 mg/L de aceites y grasas).

Como antes se mencionó, las casas carecen de una infraestructura de sistemas de drenaje, por lo que todos los desechos que puedan verterse en las cañerías de los hogares por escorrentía superficial llegarán a la laguna. Los aceites vegetales de cocina se vierten por el fregadero, u alguna otra vía que haga uso de tuberías, son fuente de contaminación para la laguna. De acuerdo con González y González (s.f.), un litro de aceite usado contiene aproximadamente 5,000 veces más carga contaminante que el agua residual y contamina 40,000 L de agua, que es el equivalente al consumo de residencial de un apersona al año.

También el contenido de grasas y aceites en la laguna puede ser por el uso de lanchas a motor, contaminando así con hidrocarburos la laguna, lo cual tiene un impacto en la sobrevivencia de la fauna y flora del ecosistema acuático. Los hidrocarburos van desde hidrocarburos ligeros (gasolina, gasoil marino y crudo ligero), a hidrocarburos pesados (crudo pesado, IFO 180 y HFO). Los hidrocarburos ligeros, específicamente gasolina, es el

que puede afectar la laguna, en donde en grandes cantidades puede producir toxicidad en el medio.

B. Tierra firme

En el mapa de distribución de puntos de muestreo y resultados (figura 9), se señala donde se realizó los muestreos, siendo un total de 6 muestras.

En el parámetro de pH, la muestra 2 y 3 presentan un pH ácido (5.40 upH y 5.30 upH, respectivamente); seguido de las muestras 1 (5.70 upH), 5 (6.40 upH) y 6 (6.90 upH) que tienen suelos moderadamente ácidos; y en la muestra 4, con 7.40 upH se observa la neutralidad del pH.

En conductividad eléctrica, se observa que el valor más alto es de 231.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiente de la muestra 3.

En la muestra 4 se presenta la mayor concentración de fósforo, siendo de 9.25 ppm; y en la muestra 5, la concentración de fósforo es de 1.14 ppm.

En capacidad de intercambio catiónico la muestra 5 obtuvo el menor valor (14.76 Meq/100 g); y la muestra 6 presenta el valor más elevado, siendo de 32.29 Meq/100 g.

La muestra 3 presenta un 65.80 % de saturación de bases; la muestra 6 tiene 5.80 % de materia orgánica y 0.34 % de nitrógeno total, siendo éstos los valores superiores obtenidos en estos parámetros.

A continuación, en el cuadro 18, se presentan los resultados detallados de los análisis de laboratorio de muestras de suelos.

Cuadro 18. Resultados de los análisis de suelos.

No.	pH	μS/cm	ppm					Meq/100 g					%		
		C.E	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.	N total
Ideal	6-6.5	1500-2000	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	75-90	4-5	0.3-0.4
1	5.70	168.50	2.48	3.50	3.50	47.50	107.50	19.60	6.74	2.84	0.17	1.38	56.80	2.90	0.18
2	5.40	220.00	2.08	8.00	4.50	180.00	85.00	18.40	6.99	3.78	0.17	0.46	61.93	3.03	0.19
3	5.30	231.50	2.73	1.50	9.00	59.50	32.00	26.80	11.98	5.10	0.17	0.38	65.80	5.13	0.29
4	7.40	148.00	9.25	3.50	3.00	160.00	45.00	19.20	5.74	4.24	0.42	1.90	64.00	2.23	0.17
5	6.40	122.00	1.14	3.50	2.00	270.00	34.00	14.76	2.99	1.48	0.39	0.24	34.17	1.66	0.11
6	6.90	213.00	2.04	2.00	2.50	26.00	62.00	32.29	13.72	2.47	0.29	0.67	63.09	5.80	0.34
MÁX	7.40	231.50	9.25	8.00	9.00	270.00	107.50	32.29	13.72	5.10	0.42	1.90	65.80	5.80	0.34
MÍN	5.30	122.00	1.14	1.50	2.00	26.00	32.00	14.76	2.99	1.48	0.17	0.24	34.17	1.66	0.11

Donde:

C.E. = Conductividad eléctrica;

CIC = Capacidad de intercambio catiónico;

SB = Saturación de bases;

M.O. = Materia orgánica.

Los suelos que son erosionados y arrastrados a los ecosistemas acuáticos, son sedimentos blandos que generalmente están formados por arena, limo y arcilla (MacDonald e Ingersoll 2002); así mismo, los nutrientes presentes en el suelo que se lixivian y llegan hasta la laguna.

El rango de pH del suelo que se considera más adecuado por la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas es el que está en el rango de 6 upH a 6.50 upH. La mayoría de las muestras presentan valores fuera de rango, oscilando los datos entre 5.30 upH a 7.40 upH; siendo los suelos de ácidos, a moderadamente ácidos y neutros.

En la parte que el límite del parque lo define la laguna, se obtuvieron muestras que representan los suelos más ácidos, que es donde existe mayor presión de las actividades antropogénicas, como los cultivos, y las poblaciones asentadas. Por otra parte, las muestras obtenidas cerca del área forestal del parque presentan suelos moderadamente ácidos a neutros, lo que puede verse estrechamente relacionado con la poca actividad humana que hay en esta área.

La capacidad de intercambio catiónico indica la capacidad del suelo de retener cationes y disponibilidad y cantidad de nutrientes de la planta (Ca, Mg, Na y K), y posee un rango ideal de 20 Meq/100 g a 25 Meq/100 g. La capacidad de intercambio catiónico está relacionada con el porcentaje de materia orgánica y cantidad de arcillas que contenga el suelo, debido a que éstas tienen una elevada capacidad de retener cationes.

Como se puede observar en el cuadro de resultados de los análisis de suelos (cuadro 16), los valores obtenidos de CIC varían entre 14.76 Meq/100 g a 32.29 Meq/100 g. De acuerdo con Garrido (1994), esta propiedad de las arcillas y la materia orgánica, que favorece al estado nutricional del suelo, puede en ocasiones ser nefasta para su estado de salud, ya que de la misma forma son capaces también de adsorber otros iones tales como residuos de plaguicidas, amoníaco, elementos pesados, entre otros, por lo que se establecen límites para la capacidad de intercambio catiónico.

La saturación de bases se refiere al porcentaje de cationes principales (Ca, Mg, Na y K), respecto al valor de la capacidad del intercambio catiónico, indicando la cantidad de sedes para cationes intercambiables que hay en el suelo, su valor ideal está entre 75 % a 90%. Como se puede observar en el cuadro de resultados de los análisis de suelos (cuadro 18), la mayoría de las zonas muestreadas están fuera de este rango, estando por debajo o arriba de éste. Los resultados obtenidos están entre 34.17 % y 65.80 %.

Como se puede observar en la muestra 5 (34.17 %), una menor capacidad del suelo para retener nutrientes; esta muestra se ubica en un área donde hay bastantes pastos.

El porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total son dos parámetros estrechamente relacionados, entre más materia orgánica haya, mayor será la cantidad nitrógeno del suelo.

La materia orgánica y el nitrógeno total son dos propiedades fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo, en donde el porcentaje de materia orgánica da la idea de cuánto de este nitrógeno es procedente de forma mineral. Mas, de acuerdo a Cristóbal-Acevedo *et al.* (2011) las altas concentraciones del nitrógeno presenta un problema ambiental, debido a que se puede provocar desnitrificación que contribuye a emisiones terrestres de óxido nitroso (N₂O), así como la lixiviación que contamina mantos acuíferos.

La cantidad de materia orgánica en el suelo debe de estar entre 4 % a 5 %, y viendo el cuadro 13, todos los resultados obtenidos están fuera del parámetro, éstos varían de 1.66 %, a 5.80 %; por otra parte, el porcentaje ideal de la disponibilidad de nitrógeno total es de 0.30 % a 0.40 %, y como se puede ver en el cuadro de resultados de los análisis de suelos (cuadro 18), los valores oscilan entre 0.11 % a 0.34 %.

Los suelos que poseen mayor cantidad disponible de nitrógeno total es en las áreas con una actividad antropogénica alta, y/o que poseen altos porcentajes de materia orgánica; siendo en el punto 3 (5.13 % M.O; 0.29 % N total), que en el mapa de distribución de puntos de muestreo (figura 9), muestra que está en los límites del parque, a orillas de éstos, siendo ésta la única muestra que está dentro del rango establecido de nitrógeno total, pero presentando un mayor porcentaje de materia orgánica de lo ideal; el área donde se tomó la muestra presentaba perturbaciones por la construcción de un muro, y suelo semidesnudo. Y la otra que presentó superiores cantidades, es la muestra 6 (5.80 % M.O; 0.34 % nitrógeno total), la cual se encuentra cerca del área administrativa del parque, con una cobertura de grama.

La cantidad de nitrógeno total se ve afectada por el uso de fertilizantes minerales y nitrogenados, así mismo, las pocas prácticas agrícolas orgánicas, que según Cristóbal-Acevedo *et al.* (2011), disminuye la concentración de éste. Además, la agricultura orgánica, es una alternativa para disminuir los contaminantes de los agroquímicos que ingresan mediante el lavado de suelos agrícolas. De acuerdo con la FAO (2003), uno de los principios de la agricultura orgánica es conservar la biodiversidad y la naturaleza, con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos originados a través del indiscriminado uso de plaguicidas y fertilizantes; mediante que la calidad del agua mejora con cultivos orgánicos, referente a nutrientes disueltos y la presencia de residuos de agroquímicos (FAO 2003).

C. Sedimentos

Se efectuaron un total de 6 muestreos para sedimentos, los cuales se realizaron en áreas pantanosas alrededor de la laguna.

Todos los análisis de laboratorio de los sedimentos se trabajaron como muestras de suelo en el laboratorio de Suelo, Planta y Agua de la Facultad de Agronomía; donde los rangos con los que se trabajan son pertenecientes a análisis de suelos.

El pH ideal es de 6 upH a 6.50 upH, estando inferior a este rango está la muestra 1, con un pH de 5.70 upH; así también, los que sobrepasan el rango son las muestras 2, 3 y 4, que tienen pH de 6.60 upH, 7.30 upH y 6.80 upH, correspondientemente.

La muestra 3 tiene una conductividad eléctrica de 555 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y en la muestra 2 se observa un valor de 99.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo la que presenta la menor conductividad eléctrica.

La concentración menor de fósforo está en la muestra 2, que tienen 0.22 ppm; y en la muestra 6 tiene concentración de 14.66 ppm, seguido de 10.26 ppm de la muestra 4.

La muestra 2 tiene 23.44 Meq/100 g de capacidad de intercambio catiónico, siendo el valor superior; y presentando 5.62 Meq/100 g está la muestra 6, siendo donde hay una menor capacidad del intercambio de iones positivos.

Hay una mayor saturación de bases en la muestra 3 (>100 %); la muestra 3 presenta la mayor cantidad de materia orgánica, siendo 4.09 %, y en la muestra 2 se encontró un menor contenido de materia orgánica (0.81 %); los valores de nitrógeno total oscilan entre 0.09 % a 0.29 %, donde la muestra 6 es la que presenta el menor porcentaje, y la muestra 3 el mayor contenido expresado en porcentaje.

En el cuadro 19, se detallan los resultados ya descritos previamente del análisis de laboratorio de los parámetros tales como pH, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, sodio, saturación de bases, materia orgánica, nitrógeno total, entre otros.

Cuadro 19. Resultados de análisis de sedimentos.

No.	pH	μS/cm	ppm					Meq/100 g					%		
		C.E	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.	N total
Ideal	6-6.5	1500-2000	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	75-90	4-5	0.3-0.4
1	5.70	175.50	1.24	6.50	4.00	962.50	52.00	10.85	2.00	1.07	0.29	0.36	34.20	2.60	0.11
2	6.60	99.50	0.22	2.50	2.50	140.00	62.50	23.44	2.99	3.13	0.43	0.79	31.36	0.81	0.19
3	7.30	555.00	4.99	2.50	12.00	165.00	112.50	19.66	19.96	1.60	0.65	0.79	>100	4.09	0.29
4	6.80	194.00	10.26	5.00	8.50	485.00	147.50	7.02	4.49	1.19	0.30	0.51	92.60	1.98	0.12
5	6.10	229.50	2.60	5.50	2.50	262.50	307.50	16.85	3.74	1.81	0.37	0.72	39.43	1.84	0.10
6	6.40	172.00	14.66	5.00	4.50	367.50	215.00	5.62	2.50	0.82	0.28	0.33	69.96	1.84	0.09
MÁX	7.30	555.00	14.66	6.50	12.00	962.50	307.50	23.44	19.96	3.13	0.65	0.79	>100	4.09	0.29
MÍN	5.70	99.50	0.22	2.50	2.50	140.00	52.00	5.62	2.00	0.82	0.28	0.33	31.36	0.81	0.09

Donde:

C.E. = Conductividad eléctrica;

CIC = Capacidad de intercambio catiónico;

SB = Saturación de bases;

M.O. = Materia orgánica.

Los sedimentos aportan elementos esenciales a los ecosistemas de agua dulce, así mismo, éstos también pueden agregar elementos de contaminación a la laguna. De acuerdo con MacDonald e Igresoll (2002), los nutrientes presentes en los sedimentos ayudan a nutrir a los organismos autótrofos como las plantas macrófitas presentes en la laguna, mediante dióxido de carbono, nitrógeno y fósforo. Así también, de acuerdo con Valenzuela (1982), las lagunas son temporales, y con respecto al tiempo son drenados y llenados con suelos y sedimentos; siendo un factor que está estrechamente con la pérdida de la profundidad de los ecosistemas acuáticos.

El pH adecuado los cuerpos de agua para el adecuado desarrollo de los organismos del ecosistema tiende a ser de 6 upH a 8 upH, y como se puede observar en el cuadro 19, los sedimentos del punto 1 son ácidos, lo que se puede atribuir a contaminantes superficiales, tales como basura flotante, y una cantidad considerable de *Salvinia minima* Baker, teniendo cerca desagües, y la esorrentía de desechos de los caficultores.

Como se puede visualizar en el cuadro de resultados de análisis de sedimentos (cuadro 19), en donde se detallan los valores obtenidos de conductividad eléctrica; en donde se tiene un rango de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; todas las muestras obtuvieron valores menores a éstos. Los datos oscilan en 99.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 555 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los valores más altos la adsorción de los sedimentos de sustancias orgánicas (Agudelo *et al.* 2013).

Los sedimentos presentan concentraciones de fósforo de 0.22 ppm a 14.66 ppm, que contribuyen al enriquecimiento de nutrientes en el ecosistema acuático. En el punto 6 se encontró la mayor cantidad de fósforo, estando esta área cerca de la administración del parque, y de la zona de playa, encontrándose a los alrededores *Typha domingensis* Pers e *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees. Seguido está el punto 4, donde presenta 10.26 ppm de fósforo, encontrándose cerca de un almacenamiento de basura en una estructura tipo pozo.

Alto contenido de nitrógeno en ecosistemas acuáticos puede representar problemas de contaminación, y aporta la aceleración de los procesos de eutrofización. Los datos obtenidos de nitrógeno total (en forma orgánica e inorgánica) oscilan entre 0.09 % a 0.29 %.

Por otra parte, las muestras de sedimentos muestran una incorporación de materia orgánica de 0.81 % a 4.09 %, donde al aumentar ésta, hay un mayor consumo de oxígeno en el ecosistema.

Como antes se indicó, el nitrógeno y la materia orgánica están relacionados, debido a la cantidad de nitrógeno que corresponde a origen mineral (materia orgánica). En la muestra 3 se obtuvo el mayor porcentaje de nitrógeno total y de materia orgánica (4.09 % M.O.; 0.29 % nitrógeno total), este punto de muestreo se encuentra dentro de un área privada que forma parte de una finca del área, en donde se realizan actividades agrarias en pequeña escala.

Seguido con 2.60 % de materia orgánica, y 0.11 % de nitrógeno total, está la muestra 1, donde se encontró una población rica de helechos acuáticos no arraigados (*Salvinia minima* Baker), presentando esta zona una profundidad aproximada de 0.50 m, así

también, un área donde por medio de escorrentía llegan aguas servidas de la Colonia Santa Mónica, y casas.

El punto 4 (1.98 % M.O.; 0.12 % nitrógeno total) se encontraron especies indicadores de contaminación y alteración, tales como *Mimosa pigra* L. (Maddox *et al.* s. f.), *Salvinia minima* Baker, *Egeria* sp., y *Ludwigia seoides* (Bonpl.) H. Hara (Pinilla 2000).

2.7.4 Recomendaciones para revertir la eutrofización

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, se seleccionaron ciertas problemáticas observadas las cuales se pueden trabajar y a través del tiempo tendrán una visible notoriedad, en donde se podrá atribuir a parar y revertir el proceso de eutrofización que está atravesando la laguna en la actualidad.

Enfocándose que el problema principal son las fuentes de contaminación en el parque, se sugieren ciertas actividades que pueden contrarrestar una causa.

En el cuadro 20, se muestra la “problemática”, con su correspondiente recomendación.

Cuadro 20. Recomendaciones para revertir y/o alentar el proceso de eutrofización de la laguna.

PROBLEMA	RECOMENDACIÓN
Considerar la recategorización del área protegida	La laguna El Pino, se encuentra categorizada actualmente como Parque Nacional, por lo que todas las actividades en sí, son muy restringidas, hasta para realizar un manejo del área. Tomando en cuenta que no se cumplen debido a las actividades económicas, turísticas y productivas que se realizan.
Sistema de drenajes	Debido a la falta de un sistema de drenajes, todos los desechos de las viviendas cercanas al parque y la laguna, llegan por escorrentía superficial al cuerpo de agua.
Desechos orgánicos y compuestos orgánicos	Realizar una limpieza general a los alrededores del parque, y dentro del parque; así mismo, realizar publicidad masiva que contenga mensajes concientizadores de las consecuencias de tirar basura en la calle.

Continuación cuadro 20.

PROBLEMA	RECOMENDACIÓN
Incremento de las macrófitas en la laguna	Extracción de biomasa manualmente para la disminución de vegetación acuática, que se realice por trabajadores y/o comunitarios, los cuales se pueden servir de ésta para efectuar abono orgánico para sus cultivos.
Disminución de la profundidad de la laguna por ingreso de sedimentos y suelos	Implementar métodos de conservación de suelos, para evitar el ingreso de éstos a la laguna, así también, el aporte de nutrientes mediante éstos.
Contaminación por grasas y aceites	Reciclaje de aceites y disminución del uso de transportes acuáticos que necesiten combustible.
Ingreso de nutrientes mediante el lavado de los suelos agrícolas	Incorporar prácticas de la agricultura orgánica.
Altas DQO y DBO	Incorporar aireación artificial.

Se puede extraer la demasia de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, la cual se puede emplear como un abono verde, tal como lo hacen en algunos Estados de México (Bonilla-Barbosa y Santamaría 2014).

El reciclado de aceites vegetales de cocina usados, son una alternativa para disminuir la contaminación de la laguna por éstos. De acuerdo con González y González (s.f.), este tipo de prácticas en los aceites vegetales es de cocina usados, pueden recibir tratamientos, en los cuales se podrían usar para la producción de biocarburantes, jabones y otros usos en la industria química (ceras, barnices y otros). Con el reciclado de aceites se reduce el uso de recursos procedentes de materias primas e impulsando la actividad económica y empleos más verdes.

De acuerdo con Pérez (2007), la aireación artificial a los cuerpo de agua son una respuesta para disminuir la demanda bioquímica y la demanda química de oxígeno, así también, al devolver oxígeno a los ecosistemas acuáticos se proporcionará diversidad a las especies de flora y fauna, ya que se recupera la fotosíntesis, de reducen nutrientes como lo son el nitrógeno y el fósforo, permite el intercambio de oxígeno entre la superficie y el fondo rompiendo así las capas tensoactivas que no permiten el ingreso, etcétera.

2.8 CONCLUSIONES

1. En este estudio se encontraron 26 fuentes antrópicas contaminantes hacia la laguna, que aceleran la eutrofización y sucesión vegetal, clasificadas como: a) desechos orgánicos, b) compuestos orgánicos, que son los que principalmente favorecen la disminución de oxígeno, provocando la muerte de la vida acuática y aumentando la materia orgánica dentro de la laguna; c) sedimentos y materiales suspendidos, que principalmente son ocasionados por la falta de prácticas de conservación de suelos agrícolas, y gradualmente van llenando el embalse de agua, disminuyendo su profundidad; y d) nutrientes vegetales inorgánicos que aportan entre otros nutrientes nitrógeno y fósforo, que aceleran el crecimiento de las plantas macrófitas acuáticas.
2. A las orillas de la laguna se encontró un total de 34 especies vegetales, las cuales van desde plantas acuáticas hasta tierra firme; el estrato herbáceo es el más representativo, donde las plantas acuáticas y las transitorias tienen la mayor representatividad de acuerdo al Valor de Importancia de Cottam, siendo primero la *Salvinia minima* Baker, seguido de *Typha domingensis* Pers, *Eleocharis intersticta* (Vanl) Roem & Shtl, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Egeria densa* Planchon, Ann. y *Egeria* sp. Estas especies pueden considerarse indicadores de sucesión vegetativa acuática, son calificadas como invasoras y algunas son bioindicadores de contaminación. Debido a la diversidad que hay en las orillas de la laguna, la zonificación y estratificación de las especies, las transectas realizadas muestran mayormente heterogeneidad.
3. La profundidad máxima de la laguna en la dirección de Este a Oeste es de 7.15 m en época de lluvia; su pérdida de profundidad se puede deber al ingreso de sedimentos de suelo, y formación de materia orgánica proveniente de la descomposición del material vegetativo acuático. Además, en donde se encontró mayor relación con actividades agrícolas hay poblaciones considerables de *Salvinia minima* Baker: a) en las muestras de agua, se perciben mayormente afectadas por la demanda bioquímica de oxígeno en áreas con vegetación, la demanda química de oxígeno, nitrógeno total y fósforo total en las orillas de la laguna (así también, cerca de poblaciones); b) en las muestras de suelos, se obtuvo pH ácido, así mismo, las áreas en las que los porcentajes son más

altos de M.O. también tienen características que hay cobertura de cultivo de grama y suelos semidesnudos; y c) los sedimentos tienen valores altos de N total y M.O. En área donde hay más interacción humana y poblaciones de *Typha domingensis* Pers e *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees se presentan sedimentos con concentraciones altas de fósforo y en áreas con basura flotante, los sedimentos son ácidos.

4. Se debe de considerar primero la recategorización de la laguna como área protegida, para iniciar la toma de decisiones y actividades para ir revirtiendo el proceso de eutrofización, y enfocar el área para conservación de la laguna. Visualizando como la principal problemática de la eutrofización las fuentes de contaminación, se proponen algunas actividades para contrarrestar las causas, y llegar al problema principal, entre éstas: a) para disminuir la velocidad del crecimiento acelerado de plantas macrófitas, se sugiere la extracción manual de la vegetación acuática puede ir reduciendo sus tamaños; b) así también, se puede la disminuir el ingreso de nutrientes por el lavado de suelos agrícolas, y la regular el decrecimiento de la profundidad de la laguna que es afectada por el ingreso de sedimentos y suelos, mediante y conservación de suelos y prácticas de agricultura orgánica, entre otras.

2.9 RECOMENDACIONES

1. Socializar el documento producido en esta investigación, principalmente con las autoridades institucionales que son administradoras del parque, y con los representantes de las comunidades que están asociadas con la laguna.
2. Realizar investigaciones que vayan enfocadas, profundizar en el estudio la sucesión ecológica acuática de la laguna, así mismo, que den alternativas para desacelerar este proceso.
3. Realizar investigaciones que se enfoquen propiamente en la eutrofización de la laguna, en donde se pueda determinar el grado trófico del cuerpo de agua con la medición del fósforo en microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$); la transparencia de la columna de agua, con el disco de Secchi; o bien, con la estimación indirecta de las comunidades fitoplanctónicas, mediante la medición de clorofila "a".
4. Para las próximas mediciones de profundidad de la laguna, se puedan realizar con metodologías más avanzadas, así mismo, que se puedan tomar datos de profundidad en época seca y época de lluvia, para visualizar el posible incremento que hay de una a otra época.
5. Procurar que el número de transectas y/o parcelas, sea igual al número de muestras de agua, suelo y suelos, para un análisis más amplio.
6. Medir la cantidad de suelo erosionado en tonelada por hectárea por año (T/ha/año), que ingresa a la laguna anualmente, para tener un aproximado del volumen que ingresa anualmente de suelos/sedimentos que aporta a la disminución de la profundidad de la laguna.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. Agudelo, DM; Flórez, MT; López, C; Palacio, J. 2013. Influencia de las condiciones fisicoquímicas del sedimento y la interfase agua-sedimento en la transferencia experimental del 0,0 - dietil o - 3,5,6 tricloro-2-piridinil fosforotiato (clorpirifos) y el 3,5,6 tricloro-2-piridinol (TCP), en el Embalse Riogr (en línea). Revista Ingenierías Universidad de Medellín 12(23):13-22. DOI: <https://doi.org/10.22395/rium.v12n23a1>
2. Badii, MH; Landeros, J; Cerna, E. 2008. Patrones de asociación de especies y sustentabilidad (en línea). International Journal of Good Conscience 3(1):632-660. Disponible en [http://www.spentamexico.org/v3-n1/3\(1\)632-660.pdf](http://www.spentamexico.org/v3-n1/3(1)632-660.pdf)
3. Bonilla-Barbosa, JR; Santamaría Arauz, B. 2014. Plantas acuáticas exóticas y trasladadas invasoras (en línea). In R. Mendoza y P. Koleff (coords.). Especies acuáticas invasoras en México. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 223-247. Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/pdf/acuaticas-invasoras-cap13.pdf>
4. Calderón Abullarade, JE; Vinicio Pinto, M. 1997. Análisis descriptivo de los parámetros físicos y químicos de la Laguna El Pino, durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 1997. Tesis Tec. Acuic. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. 34 p.
5. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala); INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala); ARCAS (Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre, Guatemala); FONACON (Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Guatemala). 2013. Estudio técnico del Parque Nacional Laguna El Pino. Guatemala, CONAP.
6. Concha Valenzuela, L. 2001. La química del agua. Consultado 14 jun. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/6427120-La-quimica-del-agua-por-luis-concha-valenzuela.html>
7. Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua, Canadá. 2011. Calidad del agua 101: Nociones básicas sobre microsistemas de agua potable; Manual versión 1.1 (en línea). Canadá. 140 p. Disponible en <http://www.waterqualitytraining.ca/files/WQ101%20Workbook%20Spanish.pdf>
8. CORTOLIMA (Corporación Autónoma Regional del Tolima, Colombia). s.f. Calidad de aguas (en línea). Tolima, Colombia. Disponible en https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/l211.pdf
9. Cristóbal-Acevedo, D; Álvarez-Sánchez, ME; Hernández-Acosta, E; Améndola-Massiotti, R. 2011. Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional (en línea). Terra Latinoamericana 29(3):325-332. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283011>

10. Deloya, A. 2006. Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales (en línea). *Revista Tecnología en Marcha* 19(2):31. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835509.pdf>
11. Duarte Díaz, JM. 2014. Caracterización fisicoquímica del agua de la Laguna el Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa cruz Naranjo del Departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala (en línea). Tesis MSc. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. 196 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0458_MT.pdf
12. Echarri, L. 1998. Ciencias de la tierra y del medio ambiente (en línea). España, Teide. 835 p. Disponible en <https://s0b3945371a06d9a2.jimcontent.com/download/version/1304135268/module/5072323870/name/Libro%20de%20Ecolog%C3%ADa.pdf>
13. Ecofluidos Ingenieros, Perú. 2012. Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para el consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. Perú, Sistema Regional de Información Ambiental. 105 p.
14. EPA (Environmental Protection Agency, USA). 1986. Gold book of quality criteria for water (en línea). Washington, D.C., USA. v. 07/80, 395 p. Disponible en <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-10/documents/quality-criteria-water-1986.pdf>
15. FAO, Italia. 2003. Agricultura orgánica y biodiversidad (en línea). *In* El-Hage Scialabba, N; Hattam, C (eds.). Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Roma, Italia. 280 p. Disponible en <http://www.fao.org/3/y4137s/y4137s06.htm>
16. García-Gutiérrez, C; Rodríguez-Meza, GD. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa (en línea). *Ra Ximhai* 8(3):41-49. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177005.pdf>
17. Garrido Valero, MS. 1994. Interpretación de análisis de suelos (en línea). Hojas Divulgadoras 5:40. Disponible en https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
18. Gobierno de México. 2015. Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 1883. México. p. 1-15. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222545/Eichhornia_crassipes.pdf
19. González, AM; Raisman, J. 2002. Plantas acuáticas arraigadas sumergidas. *In* Morfología de plantas vasculares: Tema 3: Adaptaciones del cormo; Hidrófitos e higrófitos. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_4hidrofita.htm#flotantes

20. González Canal, I; González Ubierna, JA. 2015. Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras (en línea). Aguasresiduales.Info :1-8. Disponible en <http://residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
21. Hooker, WJ; Arnott, GAW. 2009. *Rytidostylis gracilis* Hook. & Arn. Consultado 23 jul. 2019. Disponible en <http://www.tropicos.org/name/09200742?projectid=7>
22. IGN (Instituto Geográfico Nacional). Descargas SINIT (Sistema Nacional de Información Territorial) (en línea, sitio web). Disponible en <http://ide.segeplan.gob.gt/descargas.php>.
23. IICA, Costa Rica; CATIE, Costa Rica. 1971. Seminario para profesores de ecología de Facultades de Agronomía de Centroamérica, México y El Caribe (en línea). Montoya Maquin, M (ed.). Turialba, Costa Rica, IICA / CATIE. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=h90OAQAIAAJ&pg=PA38-IA44&dq=sucesión+hídrica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9vuP6gZvaAhWtq1kKHYHkCA8Q6AEILDAB#v=onepage&q=clímax&f=false>
24. ITOPF (International Tanker Owner Pollution Federation). 2005. Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino (en línea). United Kingdon. p. 1-12. (Documento de Información Técnica no. 13). Disponible en https://www.itopf.org/uploads/translated/Final_TIP_13_2011_SP.pdf
25. López A., SA. 2018. Entrevista con Jefe de Ecosistemas Estratégicos, Dirección de Manejo y Conservación de Bosques, INAB. Guatemala, Guatemala, s.e.
26. De la Llata Loyola, MD. 2003. Etapas serales o sere. *In* Ecología y medio ambiente (en línea). México, Editorial Progreso. 231 p. Disponible en https://books.google.com.gt/books?id=KnORBYSrdDMC&pg=PA78&lpg=PA78&dq=etapas+serales&source=bl&ots=SIV755ucZO&sig=sAI_T8oMQ7s3COHLqKJGFJ7A9GU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjsyLeyipvaAhWCuVvKkHRejDQkQ6AEltQEwFw#v=onepage&q=etapas serales&f=false
27. MacDonald, DD; Ingersoll, CG. 2002. A guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems: Volume I – An ecosystem-based framework for assessing and managing contaminated sediments (en línea). Illinois, USA, Environmental Protection Agency (EPA). 1:232. Disponible en <http://www.cerc.usgs.gov/pubs/sedtox/Volumel.pdf>
28. MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). 2000. Cuencas hidrográficas. Guatemala, Guatemala, MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación)
29. Maddox, VL; Westbrooks, R; Byrd, JD. 2011. Zarza negra (en línea). Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Disponible en <http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Zarzanegra-Mimosa pigra.pdf>
30. Marín Galvín, R. 2010. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas (en línea). España, Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (EMACSA). p. 1-37. Disponible en <https://static.eoi.es/savia/documents/componente48099.pdf>
31. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2011.

- Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán (en línea). Guatemala. p. 1-11. Disponible en http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/Anexo-Legal/ANEXO_3_Acuerdo-gubernativo-12-2011-Reglamento-descargas-lago-Atitlan.pdf
32. Martelo, J; Lara Borrero, JA. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte (en línea). Ingeniería y Ciencia 8(15):221-243. Disponible en <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/946/850>
 33. Marten, GG. 2006. Ecología humana: Conceptos básicos para el desarrollo sustentable (en línea). México, MexiConservación. 295 p. Disponible en <http://www.mexiconservacion.org/files/EcologiaHumanaCapitulo6.pdf>
 34. Martínez, JV. 2013. Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en San Marcos, Guatemala (en línea). Tesis PhD. San José, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) / Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) / Universidad Estatal a Distancia (UNED). 153 p. Disponible en <http://docinade.com/wp-content/uploads/2014/10/José-Vicente-Martínez-Arévalo.pdf>
 35. _____. 2018. Entrevista con asesor de investigación. Guatemala, Guatemala, s.e.
 36. Martínez Rojas, OE. 2006. Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico. Tesis Lic. Quim. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 146 p. Disponible en <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/Q169.pdf>
 37. Matteucci, SD; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación (en línea). Eva, V (ed.). Buenos Aires, Argentina, Secretarua General de la Organización de los Estados Americanos. 159 p. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/44553298_Metodologia_para_el_estudio_de_la_vegetacion_por_Silvia_D_Matteucci_y_Aida_Colma.
 38. Ministerio de Comunicaciones Transporte y Obras Públicas, Guatemala; INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Metereología e Hidrología, Guatemala). 1985. Batimetría de la laguna El Pino. Guatemala, INSIVUMEH. 95 p.
 39. Montoro, MJ. 2009. El agua: Estudios interdisciplinarios (en línea). España, Atelier Libros. 328 p. Disponible en [https://books.google.com.gt/books?id=QrVpl5P94xMC&pg=PA209&dq=estudios+de+eutrofizaci+ón&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnx6TfgPbiAhVNwVkkHbSPANoQ6AEIJzAA#v=onepage&q=estudios de eutrofizaci ón&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=QrVpl5P94xMC&pg=PA209&dq=estudios+de+eutrofizaci+ón&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnx6TfgPbiAhVNwVkkHbSPANoQ6AEIJzAA#v=onepage&q=estudios+de+eutrofizaci+ón&f=false)
 40. Morales, JE. 2001. Vegetación acuática del Parque Nacional «Laguna del Tigre» departamento del Petén, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Biol. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 98 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2115.pdf

41. Moreno, CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España, CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) / ORCYT-UNESCO (Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y El Caribe, UNESCO / SEA (Sociedad Entomológica Aragonesa). v. 1, 84 p.
42. Moreno, D; Quintero, J; López, A. 2010. Metodos para identificar , diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia (en línea). ContactoS 78:25-33. Disponible en <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
43. Natareno Franco, JJ. 1981. Caracterización y modelo de la sucesión ecológica de una región del Altiplano Occidental de Guatemala bajo ataque severo por gorgojo (*Dendroctonus* sp.) del pino (*Pinus* sp.) (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 96 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0560.pdf.
44. Noriega-Luna, B; Morales-Rodríguez, AA; Luna-Quintanilla, R; Ulloa-Vásquez, T; Cruz-Jiménez, G; Serafín-Muñoz, AH; Gutiérrez-Ortegam, NL. 2016. Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato (en línea). Acta Universitaria 26(2):71-77. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2016.1465>
45. Ordoñez Alonso, A. 1999. Sistema de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina: Experiencias de laboratorio, diseño y ejecución (en línea). España, Universidad de Oviedo. 693 p. Consultado 22 jun. 2019. Disponible en <https://www.tdx.cat/handle/10803/11118#page=2>
46. Ospina Alvarez, N; Peña, EJ. 2004. Alternativas de monitoreo de calidad de aguas: algas como bioindicadores (en línea). Acta Nova 2(4):513-317. Disponible en https://pdfs.semanticscholar.org/2a35/1d344e33a94889b95e74c13ca443d8d682d9.pdf?_ga=2.25690491.790636520.1563831864-648348656.1563831864
47. Palacio Nacional. 1995. Semana del árbol. Diario Oficial :447.
48. Parra, OO. 1989. La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro , Concepción, Chile: un caso de estudio (en línea). Ambiente y Desarrollo 1(April):117-136. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Parra/publication/237360261_La_eutrofication_de_la_Laguna_Grande_de_San_Pedro_Concepcion_Chile_Un_caso_de_estudio/links/553a82280cf29b5ee4b64d23/La-eutrofication-de-la-Laguna-Grande-de-San-Pedro-Concepcion-Chile-
49. Peralta, J. 2018. Entrevista con el administrador y trabajadores del Parque Nacional del Pino. Santa Rosa, Guatemala, s.e.
50. Pérez Farrás, LE. (2005). Cátedra de hidráulica aplicada a la ingeniería sanitaria: Teoría de la sedimentación (en línea). Argentina, Universidad de Buenos Aires, Facultad de de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Disponible en http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teorias_sedimentacion.pdf
51. Pérez Gudiel, DB. 2007. Evaluación de efecto de la aireación artificial para mejorar la calidad del agua en el Lago de Amatitlán (en línea). Tesis Lic. Biol. Guatemala,

- Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 98 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2573.pdf
52. Pérez Sabino, JF; Oliva de Sandoval, BE; Herrera Aguilar, KL; Echeverría Barillas, S; Mendoza, H; Galindo, CM; Piérola Kyllmann, K. 2003. Contaminación fisicoquímica y bacteriológica del Río Dulce, y lago de Izabal (en línea). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. Consultado 1 oct. 2019. Disponible en <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2003-027.pdf>
 53. Pérez-Vásquez, NDS; Arias-Rios, J; Quirós-Rodríguez, JA. 2015. Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del Bajo Sinú, Córdoba, Colombia (en línea). *Acta Biológica Colombiana* 20(3):155-165. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.45380>
 54. Pinilla Agudelo, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: Compilación bibliográfica (en línea). *In* Celis Calderon, LC; Pinilla A., GA (eds.). Santafé de Bogotá, Colombia, Universidad Jorge Tadeo Lozano. 67 p. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/260186467_Indicadores_biologicos_e_n_ecosistemas_acuaticos_continental_eca
 55. Ramírez Hernández, N. 2018. Entrevista con encargada de la Subregión IV-2-Santa Rosa. Santa Rosa, Guatemala, s.e.
 56. Reyes Villatoro, RA. 2009. Contaminación en el Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala. Estudio de las fuentes de contaminación (en línea). Tesis MSc. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, Escuela de Estudios de Postgrado. 73 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2527.pdf
 57. Rigola, M. 1989. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. 27 ed. Barcelona, España, Marcombo. 160 p.
 58. Rivera Mazariegos, CO. 1984. Estudio preliminar de la eutrofización y su influencia en la sucesión ecológica acuática de la Laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 131 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0499.pdf
 59. Rodríguez, M. 2015. Determinación de plancton en la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 226 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0468_MT.pdf
 60. Sanguinetti, J; Buria, L; Malmierca, L; Valenzuela, A; Núñez, C; Pastore, H; Chauchard, L; Ferreyra, N; Massaccesi, G; Gallo, E; Chehébar, C. 2014. Manejo de especies exóticas invasoras en Patagonia, Argentina: Priorización, logros y desafíos de integración entre ciencia y gestión identificados desde la Administración de Parques Nacionales (en línea). *Ecología Austral* 24(2):183-192. Disponible en

http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/21/24

61. Silva Bátiz, F de A; Hernández Vásquez, S; Galván Piña, VH. (2008). Ficha informativa de los humedales de RAMSAR (FIR) - Versión 2006-2008 (en línea). Jalisco, México, Secretaría de la Convención de Ramsar. Disponible en <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX2045RIS.pdf>
62. Sunun Quin, WA. 2014. Aplicación del método de valoración contingente para la valoración económica del uso recreativo en el Parque Nacional Laguna del Pino, Barberena, Santa Rosa (en línea). Tesis Lic. Econ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 116 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4806.pdf.
63. Toapanta Vera, MI. s.f. Calidad del agua: Grasas y aceites (en línea). Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>
64. Universidad de Alcalá, Facultad de Biología, España. s.f. Indicadores biológicos de calidad (en línea). Madrid, España. 4 p. Disponible en www3.uah.es/ecologia/huermeces/INDICADORES.doc
65. Valenzuela Bonilla, RA. 1982. Caracterización ecológica de la cuenca Laguna El Pino (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 87 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0701.pdf
66. Velez S, G; Fresneda B, E. 1992. Diversidad florística, en las comunidades roble y rastrojo alto, en la cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Antioquia (en línea). Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín Colombia 45(2):3-25. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/29812/1/28482-102382-1-PB.pdf>
67. Vitousek, PM; D'Antonio, CM; Loope, LL; Rejmánek, M; Westbrooks, R. 1997. Introduces species: A significant component of human-caused global change (en línea). New Zeland Journal of Ecology 21:1-16. Disponible en https://cybercemetery.unt.edu/archive/nisic/20110629213554/http://www.nzes.org.nz/nzje/free_issues/NZJCol21_1_1.pdf
68. Wetzel, RG. 1975. Limnology. Philadelphia, USA, W. B. Saunders Company. 743 p.



2.11 ANEXOS

2.11.1 Identificación de fuentes de contaminación

Cuadro 21A. Entrevista estructurada.

ENTREVISTA

1. Realice una descripción detallada de cómo recuerda la laguna cuando la conoció, o de sus recuerdos de infancia.

2. ¿Ha observado algún cambio en la laguna durante los últimos años?

SÍ NO

¿Cuáles? _____

3. ¿Hace cuánto tiempo cobran la entrada al parque?

SÍ NO

¿Cuándo? _____

4. ¿Sabe qué institución es la administradora del parque?

SÍ NO

¿Quién? _____

5. ¿Conoce las salidas/ entradas de la laguna?

SÍ NO

¿Dónde? _____

Continuación cuadro 21A.

6. ¿Sabe dónde desembocan los drenajes de los chalés?

SÍ NO

¿Dónde? _____

7. ¿Tiene conocimiento de cuándo se realizó la reforestación del parque?

SÍ NO

¿Cuándo? _____

8. ¿Ha observado algún cambio en la laguna durante los últimos años?

SÍ NO

¿Cuándo? _____

9. ¿Sabe qué vegetación es originaria del área?

SÍ NO

¿Cuál? _____

10. ¿Ha observado el incremento de vegetación acuática?

SÍ NO

11. ¿Ha observado el avance de la vegetación arbustiva?

SÍ NO

12. ¿Conoce el uso que tenía antes del 2010 la laguna?

SÍ NO

¿Cuál? _____

13. ¿Conoce los cultivos que hay alrededor de la laguna?

SÍ NO

¿Cuál? _____

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 22A. Coordenadas de las fuentes de contaminación localizadas.

No.	COORDENADAS GTM		CLASIFICACIÓN
	X	Y	
1	510962	1585618	Desechos orgánicos
2	511491	1585130	Desechos orgánicos
3	511514	1585104	Compuestos orgánicos
4	511668	1584927	Desechos orgánicos
5	511742	1584845	Desechos orgánicos
6	511672	1586330	Sedimentos y materiales suspendidos
7	511868	1584694	Desechos orgánicos
9	511890	1584678	Desechos orgánicos
8	511888	1584686	Compuestos orgánicos
10	512014	1584720	Desechos orgánicos
11	512134	1584805	Nutrientes vegetales inorgánicos
12	512199	1584871	Desechos orgánicos
13	512185	1584996	Desechos orgánicos
14	511872	1585319	Desechos orgánicos
15	511851	1585362	Desechos orgánicos
16	511683	1585634	Desechos orgánicos
17	511702	1585699	Desechos orgánicos
18	511732	1585728	Compuestos orgánicos
19	511888	1585802	Desechos orgánicos
20	511928	1585968	Compuestos orgánicos
21	511952	1585202	Compuestos orgánicos
22	511699	1585139	Compuestos orgánicos
23	511622	1586411	Desechos orgánicos
24	511606	1586489	Compuestos orgánicos
25	510612	1586178	Compuestos orgánicos
26	511852	1586120	Compuestos orgánicos



Figura 17A. Fuentes de contaminación localizadas.

2.11.2. Estudio de la vegetación

Cuadro 23A. Boleta del establecimiento de parcelas.

INFORMACIÓN DE TRANSECTAS

Transecta No. _____ Ubicación _____
 Coordenadas X _____ Coordenadas Y _____
 Área (m²) _____ Estrato vegetativo _____
 Altitud (m s.n.m.) _____

ESPECIE	DESCRIPCIÓN DE ESPECIE	NO. INDIVIDUOS	% COBERTURA	SOCIABILIDAD	ALTURA (M)	
					(MÁX)	(MÍN)

Donde:

Ubicación = 1. Orilla de la laguna; 2. Pantano; 3. Área arbustiva

Sociabilidad = 1. Dominante; 2. Codominante; 3. Suprimido

Estrato vegetativo = 1. Herbáceo; 2. Arbustivo

Cuadro 24A. Boleta de información para la colecta de vegetación.

BOLETA DE COLECTA DE VEGETACIÓN
--

No. planta _____ Colector: _____

Coordenada X: _____ Coordenada Y: _____ Altitud: _____

Fecha ____/____/2018 Encontrada: 1. Agua; 2. Pantano; 3. Tierra firme.

Descripción breve:

Cuadro 25A. Coordenadas de ubicación de las transectas realizadas.

No. TRANSECTA	COORDENADAS GTM	
	X	Y
1	511077	1586482
2	511477	1586618
3	511672	1586330
4	511852	1586120
5	511770	1585747
6	511952	1585202
7	511699	1585139
8	511508	1585593
9	511221	1585878
10	510921	1585784
11	510982	1585975



Figura 18A. Recolección de vegetación y realización de transectas de vegetación.



Figura 19A. Herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.

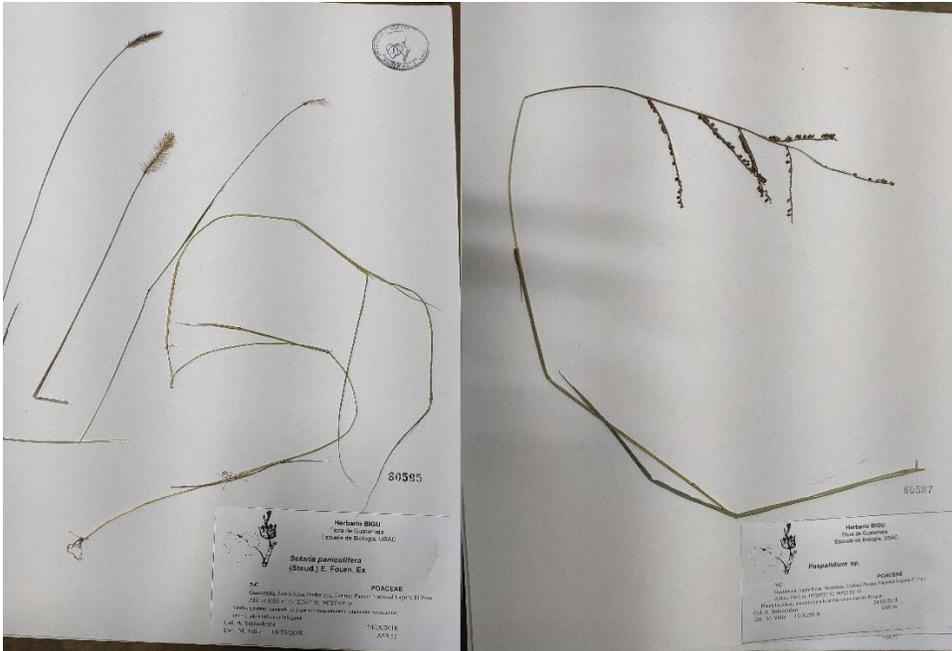


Figura 20A. Determinación vegetal de las plantas recolectadas en el Parque Nacional Laguna El Pino.

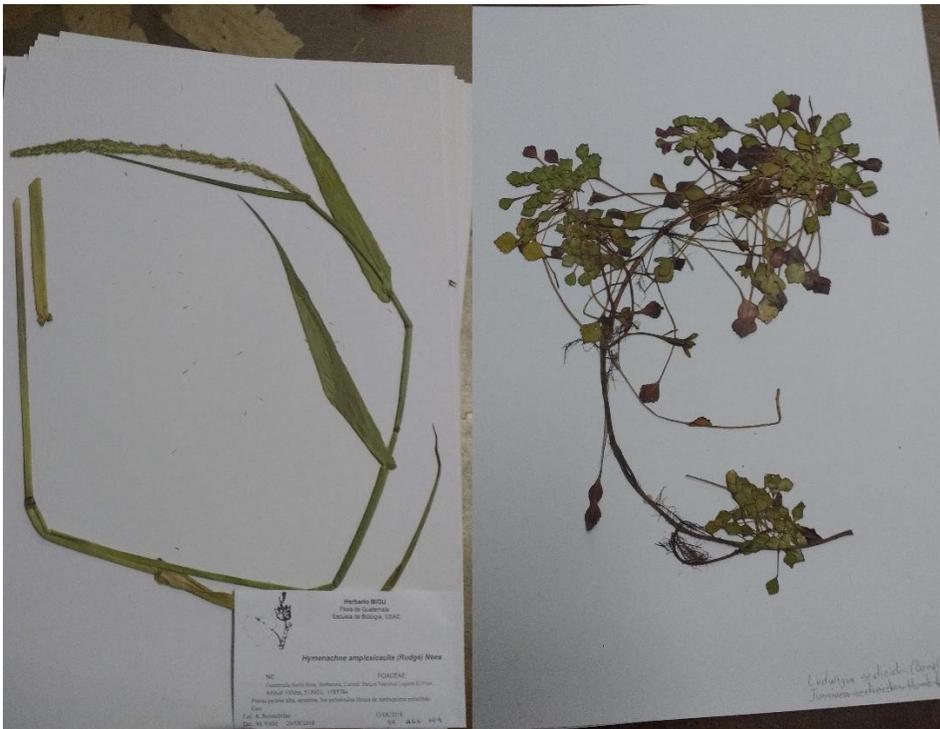


Figura 21A. Determinación vegetal de las plantas recolectadas en el Parque Nacional Laguna El Pino.



Figura 22A. Carta extendida del herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, como comprobante del trabajo de determinación florística de las especies enlistadas.



Colecciones del Parque Nacional Laguna del Pino, Barberena, Santa Rosa, durante el año 2018

	Familia	Especie	No registro BIGU
1	Amaranthaceae	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	80465
2	Apocynaceae	<i>Asclepias curassavica</i> L.	80463
3	Asteraceae	<i>Coryza bonariensis</i> (L.) Cronquist.	80453
4	Asteraceae	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	79342
5	Asteraceae	<i>Eupatorium</i> sp.	80451
6	Asteraceae	<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (Juss. Ex Aubl.) CF Baker	79451
7	Cucurbitaceae	<i>Rytidostylis gracilis</i> Hook. & Arn.	79446
8	Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	79385, 80457
9	Cyperaceae	<i>Eleocharis intersticta</i> (Vanl.) Roem & Schl.	79340
10	Cyperaceae	<i>Rhynchospora</i> sp.	79983
11	Fabaceae	<i>Aeschynomene virginica</i> (L.) Britton	80454
12	Fabaceae	<i>Centrosema</i> sp.	80557
13	Fabaceae	<i>Crotalaria</i> sp.	79444
14	Fabaceae	<i>Desmodium</i> sp.	79346
15	Mimosaceae	<i>Mimosa pigra</i> L.	79343, 79447, 80470
16	Fabaceae	<i>Mimosa</i> sp.	80468
17	Fabaceae	<i>Sesbania emerus</i> (Aubl.) Urb.	79387
18	Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i> Planchon	80467
19	Hydrocharitaceae	<i>Egeria</i> sp.	79345, 80473
20	Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit	79350
21	Lythraceae	<i>Cuphea mimuloides</i> Schldtl. & Cham.	79386
22	Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i> L.	80452
23	Malvaceae	<i>Sida</i> sp.	80461
24	Menyanthaceae	<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	80460
25	Onagraceae	<i>Ludwigia sedoides</i> (Bonpl.) H. Hara	79388, 80459
26	Onagraceae	<i>Ludwigia</i> sp.	79448
27	Poaceae	<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	79342, 79450, 80466
28	Poaceae	<i>Luziola peruviana</i> Juss. Ex J.F. Gmel.	80472
29	Poaceae	<i>Luziola</i> sp.	80548
30	Poaceae	<i>Muhlenbergia</i> sp.	80455, 80456, 80469
31	Poaceae	<i>Panicum</i> sp.	79445
32	Pontederiaceae	<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms	79442
33	Salviniaceae	<i>Salvinia minima</i> Baker	79349
34	Sterculiaceae	<i>Walteria americana</i> L.	79348
35	Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	80471
36	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	79449
37	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i> Kunth	79347, 80462

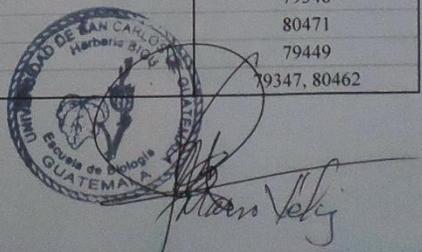


Figura 23A. Listado de plantas determinadas en el herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.

	Familia	Especie	No registro BIGU
		Alternantera sp	80596
1	Amaranthaceae		80465
2	Amaranthaceae	Amaranthus spinosus L.	80463
3	Apocynaceae	Asclepias curassavica L.	80453
4	Asteraceae	Conyza bonariensis (L.) Cronquist.	79342
5	Asteraceae	Emilia sonchifolia (L.) DC.	80451
6	Asteraceae	Eupatorium sp.	
		Pseudoelephantopus spicatus (Juss. Ex Aubl.) CF	
7	Asteraceae	Baker	79451
8	Cucurbitaceae	Rytidostylis gracilis Hook. & Arn.	79446
9	Cyperaceae	Cyperus sp.	79385, 80457
10	Cyperaceae	Eleocharis intersticta (Vanl.) Roem & Schlt.	79340
11	Cyperaceae	Rhynchospora sp.	79983
12	Fabaceae	Aeschynomene virginica (L.) Britton	80454
13	Fabaceae	Centrosema sp.	80557
14	Fabaceae	Crotalaria sp.	79444
15	Fabaceae	Desmodium sp.	79346
16	Fabaceae	Mimosa pigra L.	79447, 80470
17	Fabaceae	Mimosa sp.	80468
18	Fabaceae	Sesbania emerus (Aubl.) Urb.	79387
			79343, 79444, 80464,
19	Hydrocharitaceae	Egeria densa Planchon	80467
20	Hydrocharitaceae	Egeria sp.	79345, 80473
21	Lamiaceae	Hyptis suaveolens (L.) Poit	79350
22	Lythraceae	Cuphea mimuloides Schldtl. & Cham.	79386
23	Malvaceae	Sida cordifolia L.	80452
24	Malvaceae	Sida sp.	80461
25	Menyanthaceae	Nymphoides indica (L.) Kuntze	80460
26	Mimosaceae	Mimosa pigra L.	79343
27	Myrtaceae	Callistemon viminalis (Gaerth.)G. Don	80594
28	Onagraceae	Ludwigia sedoides (Bonpl.) H. Hara	79388, 80459
29	Onagraceae	Ludwigia sp.	79448
30	Poaceae	Hymenachne amplexicaulis	79342, 79450, 80466
31	Poaceae	Luziola peruviana Juss. Ex J.F. Gmel.	80472
32	Poaceae	Luziola sp.	80548
33	Poaceae	Muhlenbergia sp.	80455, 80456, 80469
34	Poaceae	Panicum sp.	79445
35	Poaceae	Paspalidium sp	80393, 80592, 80597
36	Poaceae	Setaria paniculifera (Steudel)Foun. ex Hemsley	
37	Pontederiaceae	Eichornia crassipes (Mart.) Solms	79442
38	Salviniaceae	Salvinia minima Baker	79349
39	Sterculiaceae	Walteria americana L.	79348
40	Typhaceae	Typha domingensis Pers.	80471
41	Verbenaceae	Lantana camara L.	79449
42	Verbenaceae	Verbena litoralis Kunth	79347, 80462
43	Verbenaceae	Verbena litoralis Kunth	80462

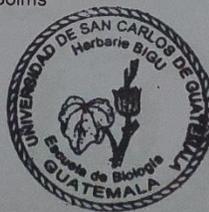


Figura 24A. Listado de plantas determinadas en el herbario de la Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.11.3. Estudio del enriquecimiento nutritivo de la laguna

A. Agua

a. Profundidad de la laguna

Cuadro 26A. Coordenadas de donde se registró las profundidades de la laguna.

No. PUNTO	COORDENADAS GTM	
	X	Y
1	511867.41	1585148.43
2	511820.16	1585236.57
3	511772.91	1585324.70
4	511725.66	1585412.83
5	511678.41	1585500.96
6	511631.15	1585589.10
7	511583.90	1585677.23
8	511536.65	1585765.36
9	511489.40	1585853.49
10	511442.15	1585941.62
11	511394.89	1586029.76
12	511347.64	1586117.89
13	511300.39	1586206.02
14	511253.14	1586294.15
15	511205.89	1586382.28
16	511164.04	1586460.34
17	510935.09	1585780.89
18	511018.32	1585836.32
19	511101.55	1585891.75
20	511184.79	1585947.18
21	511268.02	1586002.61
22	511351.25	1586058.04
23	511434.48	1586113.47
24	511517.71	1586168.90
25	511600.94	1586224.33
26	511684.18	1586279.76



Figura 25A. Medición de profundidad de la laguna.

b. Muestras de agua

Cuadro 27A. Boleta de identificación de muestras de agua.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

No. Muestra:	_____	Altitud	_____		
Coordenada X	_____	Coordenada Y	_____		
Hora	_____	Fecha	_____		
Olor	Inodoro	Lejía/Medicina	Huevos podridos/Alcanterilla	Pescado	
	Hierba	Petróleo	Otro color		
Color	Transparente	Marrón	Ocre	Negro	Verde
	Azulado	Otro color			
Observaciones	_____				

Cuadro 28A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de agua.

No. MUESTRA DE AGUA	COORDENADAS GTM	
	X	Y
1	511682	1585198
2	511619	1586396
3	511940	1585198
4	510984	1585985
5	511508	1585960
6	511178	1586497
7	511921	1585877
8	511453	1585754



Figura 26A. Recolección de muestras de agua.

B. Tierra firme

Cuadro 29A. Boleta de identificación de muestras de suelos.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS

No. Muestra	_____	Fecha	_____
Uso del suelo	_____	Pendiente (%)	_____
Coordenada X	_____	Coordenada Y	_____
Observaciones	_____		

Cuadro 30A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de suelos.

No. MUESTRAS DE SUELOS	COORDENADAS GTM	
	X	Y
1	511883	1585286
2	511799	1586185
3	511758	1586544
4	511138	1585854
5	511665	1585198
6	510932	1585975



Figura 27A. Recolección de muestras de suelo.

C. Sedimentos

Cuadro 31A. Boleta de identificación de sedimentos.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS

No. Muestra	_____	Fecha	_____
Coordenada X	_____	Coordenada Y	_____
Observaciones	_____		

Cuadro 32A. Coordenadas de la ubicación donde se extrajo las muestras de sedimentos.

No. MUESTRAS DE SEDIMENTOS	COORDENADAS GTM	
	X	Y
1	511680	1585199
2	511221	1585878
3	511477	1586618
4	511770	1585747
5	511952	1585202
6	510982	1585975



Figura 28A. Recolección de muestras de sedimentos.



**CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE
INVESTIGACIÓN FORESTAL DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO FORESTAL
DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES**

3.1 INTRODUCCIÓN

Este informe se presenta como parte del trabajo de graduación, donde se presentan los resultados obtenidos de los diferentes servicios realizados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), los cuales se llevaron a cabo en el Departamento de Investigación Forestal, de la Dirección de Desarrollo Forestal, del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Se efectuaron tres servicios. El primero, *el control y seguimiento de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF)*, éste consistió en la actualización de la base de datos que se maneja (Excel® y MIRA-SILV), así también, el apoyo de remediación de parcelas permanentes; el segundo, *documentación del Departamento de Investigación Forestal*, el cual se basó principalmente en la base de datos que se maneja de investigaciones forestales; y por último, el tercero, *revisión del listado de especies forestales*, en el cual, se actualizaron diferentes campos (código, nombre científico, sinónimo, usos, entre otros) del listado de especies forestales que se maneja.

Los tres servicios que se detallan en el informe están enfocados principalmente a bases de datos que se manejan en la red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal, documentos de investigación forestal y especies forestales.

3.2 SERVICIO 1: Control y seguimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF)

3.2.1 Introducción

Metodología denominada *Manejo de Información sobre los Recursos Arbóreos en el Componente de Silvicultura*, consta de una metodología de campo que se basa en el establecimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) y un software para el procesamiento y análisis de la información recabada, este sistema tiene como objetivo principal el apoyar a la investigación forestal en relación al seguimiento del crecimiento de los árboles en programas de reforestación y en diferentes sistemas de producción forestal, agroforestal y silvopastoril (Cifuentes Barrientos, 2010).

Para el procesamiento y procesamiento de información recabada, se trabaja con el software MIRA-SILV, “el cual es un sistema de información sobre el recurso arbóreo en el componente de silvicultura, cuyo fin principal es servir como base para la implementación de sistemas de seguimiento y evaluación de plantaciones, permitiendo almacenar una serie de datos de las diferentes mediciones realizadas y preparar diversos informes de los resultados obtenidos, para su evaluación” (Salazar s. f.: 16).

Las PPMF es la unidad mínima de muestreo, cuyo tamaño varía con respecto a los objetivos para los cuales es establecida; su finalidad principal es permitir mediciones periódicas y seguimiento del crecimiento y desarrollo de los árboles que quedan dentro de la parcela, por un período de años que dependerá de la edad de rotación de la especie, producto y calidad de sitio (Cifuentes 2010).

Las parcelas de medición son la herramienta más eficaz y eficiente para conocer y evaluar el crecimiento y rendimiento de los árboles individuales y de los rodales. Además, proporcionan información valiosa para establecer estrategias de manejo, para desarrollar modelos de crecimiento, elaborar cuadros de rendimiento en volumen y área basal, entre otros (Cifuentes 2010).

3.2.2 Objetivos

A. Objetivo general

Controlar, monitorear y dar seguimiento a las Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF).

B. Objetivos específicos

1. Actualizar las bases de datos que se manejan para la administración y control de información de las PPMF.
2. Identificar incongruencias en las mediciones realizadas, mediante un reporte de medición consecutiva.
3. Brindar apoyo al Departamento de Investigación con las solicitudes de remediación, correspondiente al año 2018 de PPMF.

3.2.3 Metodología

A. Actualización de las bases de datos, para la administración y control de las PPMF.

a. Base de Datos de Excel®

Se llevó un control de las boletas de medición del 2017, de la Red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF); la actividad se llevó a cabo principalmente para actualizar la base de datos de Excel®, e identificar las parcelas a las que se les realizó su medición, y a las que no se midieron en el período del año 2017.

Las parcelas se identificaron de tres maneras: (A) Toda parcela que tuviese su correspondiente medición, se resaltaron todos sus campos de color amarillo; (B) si la parcela no tuvo medición, se resaltaron todos sus campos de color rojo; (C) y por último, todas las parcelas que presentaban un inconveniente y/o error (el nombre de la especie fuese erróneo, la codificación de la parcela, inactivación de la parcela, etcétera), los caracteres de todos los campos se encuentran de color.

Se llevó el control de las boletas de 6 subregiones, siendo éstas Tactic, Rabinal, Cobán, San Jerónimo e Ixcán Playa Grande, de Región II; y Sayaxché, de la Región VIII. Se hizo la revisión de 288 parcelas en la base de datos (figura 29).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	CODIGO PARCELA	CO DIG O PR	Subregion	SU B-REG IÓN	Col um na 1	No. FIN CA	REGIÓN FINCA	NOMBRE FINCA	PROPIETARIO
133	123-39-1	123	II-3 Cobán	23	33	33	23-033	Santa Sofia	Edgar Fernando Calderon
134	123-39-2	123	II-3 Cobán	23	33	33	23-033	Santa Sofia	Edgar Fernando Calderon
135	123-76-1	123	II-3 Cobán	23	46	46	23-046	Adolfo Pacay Cajbom	Adolfo Pacay Cajbom
136	123-76-2	123	II-3 Cobán	23	46	46	23-046	Adolfo Pacay Cajbom	Adolfo Pacay Cajbom
137	123-61-1	123	II-3 Cobán	23	33	33	23-033	Santa Sofia	Edgar Fernando Calderon
138	123-77-1	123	II-3 Cobán	23	46	46	23-046	Adolfo Pacay Cajbom	Adolfo Pacay Cajbom
139	123-78-1	123	II-3 Cobán	23	22	22	23-022	Inupal	FEDECOVERA
140	123-79-1	123	II-3 Cobán	23	23	23	23-023	Chinajuc	Wilson Anibal Garcia Santos
141	123-80-1	123	II-3 Cobán	23	47	25	23-025	Las Coquechas	Eufemia Isabel López Lucas
142	123-48-1	123	II-3 Cobán	23	20	20	23-020	Chitzubil	Norma Adelina Argueta Vega de Lopez
143	123-48-2	123	II-3 Cobán	23	20	20	23-020	Chitzubil	Norma Adelina Argueta Vega de Lopez
144	123-48-4	123	II-3 Cobán	23	20	20	23-020	Chitzubil	Norma Adelina Argueta Vega de Lopez
A	123-48-5	123	II-3 Cobán	23	20	20	23-020	Chitzubil	Norma Adelina Argueta Vega de Lopez
147	123-49-1	123	II-3 Cobán	23	36	36	23-036	Setzac	Miguel Angel Garcia Rosales
147	123-49-2	123	II-3 Cobán	23	36	36	23-036	Setzac	Miguel Angel Garcia Rosales
B	123-50-1	123	II-3 Cobán	23	31	31	23-031	Chajmacan	Reforestadora de Oriente, S A
148	123-50-2	123	II-3 Cobán	23	31	31	23-031	Chajmacan	Reforestadora de Oriente, S A
149	123-51-1	123	II-3 Cobán	23	34	34	23-034	Kanguinic	Agro Kanquinic, S A
151	123-52-1	123	II-3 Cobán	23	37	37	23-037	Santa Rita	John Walter Schippers Castellan
152	123-52-2	123	II-3 Cobán	23	37	37	23-037	Santa Rita	John Walter Schippers Castellan
C	123-53-1	123	II-3 Cobán	23	38	38	23-038	Ucula	Gustavo Israel Martinez Diaz
153	123-53-2	123	II-3 Cobán	23	38	38	23-038	Ucula	Gustavo Israel Martinez Diaz
155	123-56-1	123	II-3 Cobán	23	34	34	23-034	Kanguinic	Agro Kanquinic, S A
156	123-56-3	123	II-3 Cobán	23	34	34	23-034	Kanguinic	Agro Kanquinic, S A

Fuente: Extraído de la base de datos de Excel® de las PPMF de la Subregión de Cobán.

Figura 29. Control de boletas de remediación 2017; resultado de la base de datos de Excel®.

b. MIRA-SILV

Se digitalizó la información contenida en las boletas de las mediciones forestales correspondientes al año 2017, de las subregiones de Tactic, Rabinal, Cobán, San Jerónimo, Ixcán Playa Grande, y Sayaxché.

Primero, se cargaron los proyectos (siendo éstos las parcelas de una subregión en específico); segundo, se buscó la parcela (de acuerdo con el código que ésta tiene), al ubicar la parcela, se agregó una nueva medición, con la fecha en que se realizó ésta; se

continuó cargando los datos de la parcela (número de árbol, y ejes), y se procedió a tabular los datos contenidos en las boletas (DAP, altura, código de forma y defecto del fuste, y código de sanidad). El formulario 6, corresponde a la boleta de medición de árboles en pie (figura 46A).

Se maneja una codificación de para árboles “muertos”, y para árboles vivos sin datos: siendo para el primero “-99”; y para el segundo, “88”.

B. Identificación de incongruencias en las mediciones realizadas, mediante un reporte de medición consecutiva.

a. MIRA-SILV

Luego de haber digitalizado todas las boletas de remediación 2017 en MIRA-SILV, se prosiguió a generar un *Informe de Mediciones Consecutivas* de 2015 a 2016, y 2016 a 2017. El principal parámetro para identificar incongruencias en las mediciones, fue el DAP, seguido de la altura; con respecto al tiempo, especie y ubicación de la plantación, deben de presentar cierto crecimiento en estos parámetros.

b. Base de datos de Excel®

En la base de datos, se identificaron las parcelas que presentan incongruencias en sus mediciones, así como las que no presentan información correcta. En la columna de “NOMBRE DE LA FINCA”, se resaltó de rojo (A), las parcelas que presentan incongruencias; en la misma columna, se resaltó de color verde (B) a las parcelas que presentan datos normales y/o congruentes (figura 30).

	CODIGO PARCELA	CODIGO PROYECTO	Subregion	SUB-REGIÓN	Columna1	No. FINCA	REGIÓN_ FINCA	NOMBRE FINCA
A	I24-61-1	I24	II-4 San Jerón	24	#N/A	24	24-024	Rogelio Asencio Peláez
B	I24-24-1	I24	II-4 San Jerón	24	5	5	24-005	Evaristo del Cid

Fuente: Extraído de la base de datos de Excel® de las PPMF de la Subregión de San Jerónimo.

Figura 30. Control de informes de medición consecutiva 2017; resaltado de la base de datos de Excel®.

c. Ingreso al archivo

Toda parcela que presentó incongruencias en sus mediciones, se imprimió el *Informe de Mediciones Consecutivas*, y adjuntó a su correspondiente parcela; cada región, cuenta con un archivo donde se encuentran las boletas de remediación de las subregiones que lo conforman.

C. Apoyo en remediciones de parcelas correspondientes al 2018.

a. Gabinete

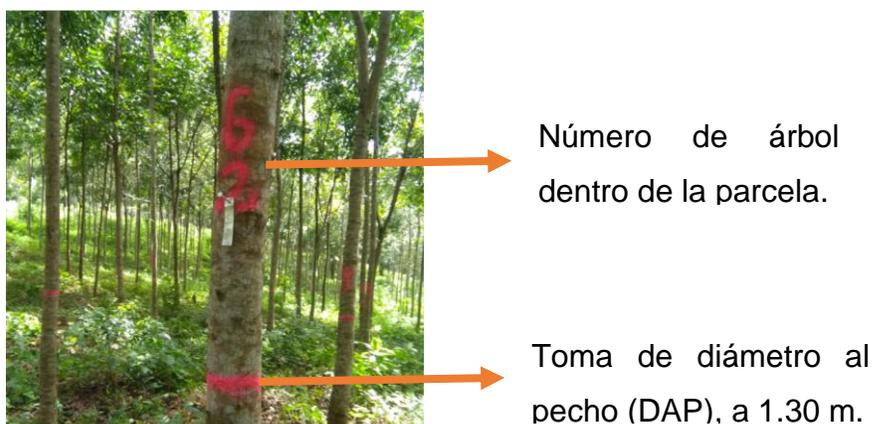
Se brindó apoyo para remediciones de parcelas en las subregiones de Playa Grande Ixcán, Cobán, Tactic y San Jerónimo.

Para el apoyo de las remediciones 2018, primero, se coordinó con los técnicos de la correspondiente subregión, así mismo, con los propietarios de las parcelas. Se revisó la base de datos de Excel®, y los archivos de las correspondientes parcelas para obtener las coordenadas exactas de la entrada de la parcela, así como el croquis para guiarse en la llegada al área.

b. Campo

Para ubicar la parcela a remedir, se ingresó las coordenadas de ésta en el GPS; una vez encontrada la parcela, se proseguía a llenar los formularios 1, 2, 3, y 4 (figuras 36A, 38A, 40A y 42A). Luego, se procedía a identificar los primeros árboles (el número 1, así sucesivamente); seguido, se les midió el DAP, y la altura. Todo esto fue anotado en el formulario 6 (figura 48A), y también, mediante la observación se llenaron las casillas de código de forma y defecto del fuste, y código de sanidad del formulario 6.

Así mismo, como se muestra en la figura 31, con color rosado neón se remarcaban los números de los árboles, y la línea para medir el DAP (a 1.30 m)



Fuente: (INAB s. f.)

Figura 31. Remarcación de la numeración de los árboles, y línea de DAP.

3.2.4 Resultados

A. Control de boletas de remediación 2017 y digitalización de las boletas de remediación de la base de datos MIRA-SILV.

La red de Parcelas Permanentes de Remedición Forestal (PPMF), en la actualidad (2018) cuenta con 913 parcelas, correspondientes a 32 subregiones; de éstas, se realizó la digitalización de las mediciones pertinentes al año 2017; 6 subregiones, de éstas, 5 son de la Región II, y 1 de la Región VIII. En el cuadro 33 se detallan los resultados obtenidos.

Cuadro 33. Control de boletas digitalizadas de remediación 2017 de la Región II y Región VIII.

REGIÓN	SUBREGIÓN	PARCELAS DIGITALIZADAS	PARCELAS SIN REMEDIACIÓN	TOTAL
II	II-1 Tactic	25	14	39
	II-2 Rabinal	14	0	14
	II-3 Cobán	57	32	89
	II-4 San Jerónimo	25	24	49
	II-6 Ixcán Playa Grande	37	12	49
VIII	VIII-3 Sayaxché	44	2	46
TOTAL				286
				31.33 %

En el cuadro 33, se puede observar que se actualizó el 31.33 % de la red de PPMF, representando un total de 286 parcelas que fueron revisadas en la base de datos de Excel® y digitalizadas en MIRA-SILV.

B. Actividad de generar informes de mediciones consecutivas.

Se generaron informes de Medición Consecutiva, de los años 2015-2016, y 2016-2017. En el cuadro 34, se detallan los resultados obtenidos.

Cuadro 34. Informes de medición consecutiva generados para los años 2015-2016, y 2016-2017.

REGIÓN	SUBREGIÓN	INFORME DE MEDICIÓN CONSECUTIVA		TOTAL INFORMES
		No. Parcelas Congruentes	No. Parcelas Incongruentes	
II	II-1 Tactic	12	13	25
	II-2 Rabinal	12	2	14
	II-3 Cobán	41	14	55
	II-4 San Jerónimo	22	3	25
	II-6 Ixcán Playa Grande	30	6	36
VIII	VIII-3 Sayaxché	42	2	44
TOTAL		159	40	199

Como se puede observar en el cuadro 34, se generó un total de 199 reportes de medición consecutiva. Donde, 40 de éstos presentaron incongruencias en sus mediciones (siendo de DAP, o altura), en las distintas subregiones; y 159 de los informes generados, corresponden a mediciones con información congruente.

C. Apoyo en remediciones de parcelas correspondientes al 2018.

En la actualidad (2018) la red de Parcelas Permanentes de Remedición Forestal (PPMF), cuenta con 913 parcelas, correspondientes a 32 subregiones; de éstas, se realizó el apoyo para la medición de parcelas en las subregiones de Tactic (II-1), Cobán (II-3), San Jerónimo (II-4) y Playa Grande Ixcán (II-6).

En el cuadro 35 se presenta en número de parcelas remedidas según la subregión.

Cuadro 35. Apoyo en remediciones de las PPMF correspondientes a la medición 2018.

REGIÓN	SUBREGIÓN	No. PARCELAS REMEDIDAS
II	II-1 Tactic	2
	II-3 Cobán	2
	II-4 San Jerónimo	2
	II-6 Ixcán Playa Grande	2
TOTAL		8
		0.88 %

Como se visualiza en el cuadro 35, se apoyó en un 0.88 % de las mediciones correspondientes al año 2018, siendo un total de 8 remediciones, propias de la Región II.

3.2.5 Evaluación

Se llevó el control, seguimiento y actualización del 31.33 % de la red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal pertinentes a la remediación del año 2017. Estas PPMF son correspondientes de las subregiones de Tactic, Cobán, San Jerónimo, Ixcán Playa Grande y Sayaxché.

Así mismo, como continuidad de las subregiones de Tactic, Cobán, San Jerónimo, Ixcán Playa Grande y Sayaxche, se generó un total de 199 informes de medición consecutiva (2015-2016, 2016-2017), con los cuales se pudo analizar la información digitalizada de estos años, con la finalidad de verificar si las mediciones de éstos eran congruentes, o no, en los datos de DAP y altura, de acuerdo con la especie y área de desarrollo. Se concluyó con 40 parcelas que presentan información incongruente, siendo en su mayoría de Cobán (14), Tactic (13), e Ixcán Playa Grande (6).

Por último, se apoyó en un 0.88 % en la remediación de PPMF pertinente al año 2018, de las subregiones de Tactic, Cobán, San Jerónimo e Ixcán Playa Grande. Se logró la ubicación y rehabilitación de PPMF, así mismo, el acercamiento con los propietarios de las parcelas.

3.3 SERVICIO 2: Documentación del Departamento de Investigación Forestal

3.3.1 Introducción

El Departamento de Investigación Forestal, maneja una base de documentación que está conformada con varias investigaciones e informes, generados principalmente por estudiantes a nivel medio y universitario; las cuales son publicadas y un 23.67 % se encuentran disponibles de forma gratuita en el *Centro de Descargas* de la página web del Instituto Nacional de Bosques.

3.3.2 Objetivos

A. Objetivo general

Actualizar la base de datos de la documentación del Departamento de Investigación Forestal.

B. Objetivos específicos

1. Realizar una revisión de la documentación en CDs.
2. Corroborar la existencia de documentos físicos, de acuerdo con su codificación en la base de datos.
3. Proponer un área temática de acuerdo con el Programa Nacional de Investigación Forestal, según la descripción del documento.
4. Revisar los documentos que se encuentran disponibles para descargar en la página del INAB.

3.3.3 Metodología

A. Revisión de documentación en CDs.

Todos los CDs que se encontraban en el Centro de Información y Documentación Forestal (CINFOR) que pertenecen al Departamento de Investigación de la Dirección de Desarrollo Forestal, se revisaron en su totalidad.

En la base de documentación se agregaron dos columnas, una titulada *CD*, la cual consistía en clasificar como “sí”, todos los documentos que sí tuviesen un respaldo en CD. La otra columna se tituló *PDF/Word*, en donde se categorizaba de acuerdo con el tipo de formato que tenía el documento (fuese PDF o Word).

Todo CD que tuviese una codificación duplicada, y/o no correspondiente con el código asignado en la base de documentación, se agregaba una especificación en la columna de *CD*.

Así mismo, se creó una base de datos en donde figuraba la información propia del disco, tal como la codificación, tipo de documento, título y autor(es).

B. Corroboración de documentos físicos, de acuerdo con su codificación.

En Centro de Información y Documentación Forestal (CINFOR) se encuentran las investigaciones propias del Departamento de Investigación. Todos estos documentos se les revisó su codificación, título, nombre de autor/institución y año, y se comparó con los de la base de datos de documentación.

Se agregó una columna en la base de documentación, en donde ésta se tituló *Documento*, en donde se colocó si se encontraba el documento, o bien, si éste tenía observaciones tales como que apareciesen repetidos, con codificación diferente, nombre y/o año; y si el documento figura en la base de datos, mas no en los documentos físicos, se les agregó “no”.

C. Áreas temáticas de acuerdo con Programa Nacional de Investigación Forestal.

El Programa Nacional de Investigación Forestal consta de once áreas temáticas, las cuales son:

- Recursos genéticos.
- Manejo y protección forestal.
- Dendroenergía.
- Cambio climático.
- Funcionalidad ecosistémica.
- Diversidad biológica y ecosistemas.
- Industria y comercio forestal.
- Tenencia y ordenamiento de territorio.
- Economía forestal.
- Política y legislación forestal.
- Gestión forestal local (INAB 2015).

Se revisó todas las investigaciones y/o documentos que se encuentran en la base de documentación (2018), y de acuerdo con la descripción, se le asignó un área temática de acuerdo con el Programa Nacional de Investigación Forestal a cada documento y/o investigación.

D. Revisión de documentos disponibles para su descarga en la página web del INAB.

Primero, se ingresó a la página web del INAB (www.inag.gob.gt) y se pinchó a *Servicio en Línea* (figura 32).



Figura 32. Paso uno, ingreso a la página principal de la página web del INAB.

Luego, en donde dice *Investigación Forestal*, se pincha en *Consulta de Tesis* (figura 33).



Figura 33. Paso dos, pinchar a consulta de tesis.

Una vez pinchado en *Consulta de Tesis*, aparece una ventana emergente, en donde dice qué acción se quiere realizar con la base de datos en formato de Excel®. Como se presenta en la figura 34, en este caso, se puede dar la opción de *Open* (abrir) o *Save* (guardar).

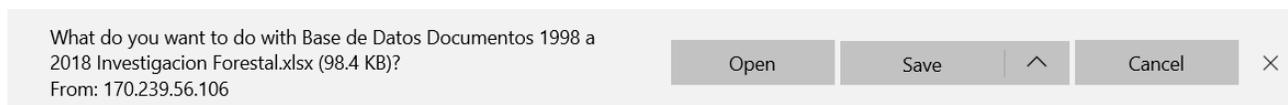


Figura 34. Paso tres, abrir y/o guardar la base de datos de investigación forestal.

Cuando se abre la hoja de Excel®, se observa 10 columnas, en donde están: el número, título del proyecto/actividad, investigador o institución, breve descripción, año, área temática según el Programa Nacional de Investigación Forestal, estudio técnico, investigaciones, guía manual y descargar documento aquí. Toda vez el documento esté

disponible para su descarga, aparecerá un hipervínculo que dice *Descargar aquí*, de lo contrario, nada dirá.

Por último, se agregó una columna en la base de documentación, en donde se tituló como *En Línea*, en donde de acuerdo con la revisión de documento por documento de los 338 documentos, y toda vez estuviese disponible para descargar, se categorizaba como “*Disponible*”, y si no, como “*No Disponible*”.

3.3.4 Resultados

A. Revisión de documentación en CDs.

Se hizo la revisión de 68 CDs, con respecto a la base de documentación del Departamento de Investigación. En el cuadro 36, se puede visualizar el tipo de documentos encontrados en los CDs revisados.

Cuadro 36. Tipos de documentos encontrados en la revisión de CDs.

TIPO DE DOCUMENTO	NÚMERO	%
Word	42	12.43
PDF	17	5.03
Ambos	7	2.07
No se lee el CD	2	0.59
TOTAL	68	20.12

Para noviembre de 2018 en la base de documentación figuraban 338 investigaciones y/o informes, de éstos se tiene un respaldo en CDs del 20.12 %. Donde el 12.43 % de éstos está formato Word, 5.03 % en PDF, y 2.07 % están en ambos formatos. Cabe agregar que al 0.59 % de CDs no se logró acceder a su información.

B. Corroboración de documentos físicos, de acuerdo con su codificación.

Se ordenó y revisó toda la documentación de investigaciones e informes propias del Departamento de Investigación, verificando que éstas(os) apareciesen en la base de datos de documentación, así también, que el título, autor/institución y codificación estuviesen correctas. Cabe agregar que estos resultados se obtuvieron en noviembre de 2018.

A continuación, en el cuadro 37 se detallan los resultados obtenidos.

Cuadro 37. Corroboración de documentos físicos.

DESCRIPCIÓN	NÚMERO	%
Total de documentos que figuran en la base de datos	338	100.00
Documentos que se encuentran en físico	250	73.96
Documentos que no se encuentran en físico	88	26.04
Documentos con codificación diferente	65	19.23
Título diferente	2	0.59

De los documentos que figuran en la base de documentación, el 73.96 % se encuentra en físico, en donde algunos de éstos hay 2 y hasta 3 copias; así también, el 26.04 % no se encuentran en físico, de acuerdo con la base de documentación; así mismo, el 19.23 % de los documentos que se encuentran en físico, tienen una codificación diferente, con respecto a la que aparece en la base de documentación; y por último, el 0.59 % de éstos, tiene un título diferente al que figura en la base de documentación.

C. Áreas temáticas de acuerdo con el Programa Nacional de Investigación Forestal.

La base de datos de investigación forestal contempla un total de 338 documentos; los cuales han sido categorizados de acuerdo con las once áreas temáticas que maneja el Programa Nacional de Investigación Forestal (cuadro 38).

Cuadro 38. Porcentaje de documentos/investigaciones de acuerdo con el área temática, según el Programa Nacional de Investigación Forestal.

ÁREA TEMÁTICA	No.	%
Dendroenergía	1	0.30
Política y Legislación Forestal	1	0.30
Área no definida	4	1.18
Economía Forestal	6	1.78
Cambio Climático	8	2.37
Tenencia y Ordenamiento del Territorio	8	2.37
Diversidad Biológica y Ecosistemas	10	2.96
Recursos Genéticos	11	3.25
Industria y Comercio Forestal	26	7.69
Funcionalidad Ecosistémica	30	8.88
Gestión Forestal Local	54	15.98
Manejo y Protección Forestal	179	52.96
TOTAL	338	100.00

Se puede observar que las áreas temáticas que tienen un menor desarrollo y número de investigaciones, es *Dendroenergía y Política y Legislación Forestal*, representando cada uno de éstos el 0.30 % del total; teniendo 1 investigación en cada una de las áreas.

Por otro lado, *Manejo y Protección Forestal* es una de las áreas temáticas de las que posee mayor número de documentos de investigación, siendo un total de 179, representando un 52.96 %; el área temática que le sigue, es *Gestión Forestal Local*, el cual cuenta con 54 documentos, siendo un 15.98 % del total.

D. Revisión de documentos disponibles para su descarga en la página web del INAB.

Como una de las actividades de este servicio, se identificaron cuántas investigaciones hay disponibles en la página del INAB, así mismo, cuáles son éstas (cuadro 39).

Cuadro 39. Documentos disponibles en la página del INAB.

EN LÍNEA	TOTAL	(%)
Disponible	80	23.67
No disponible	258	76.33
TOTAL	338	100.00

Como se puede observar en el cuadro 36, existen 80 documentos de investigación que se encuentran disponibles para su descarga en línea, representando un 23.67 % del total; existiendo 258 documentos que aún no se encuentran disponibles para la descarga en la página del INAB.

Cabe destacar que estos resultados se obtuvieron en septiembre de 2018.

3.3.5 Evaluación

Se revisó un total de 68 CDs, los cuales representan un 20.12 % de la base de documentación de investigación que maneja el DIF, en donde, los documentos de 2 CDs no se pudo acceder.

Así mismo, se realizó un ordenamiento y revisión de todos los documentos físicos que posee el DIF, con la finalidad de actualizar la base de datos de Excel® del departamento, en donde, de los 338 documentos que figuran en ésta, se tiene en físico 250 documentos, de los cuales 65 tienen una codificación diferente a la que aparece en la base de datos y 2 tienen un título diferente de acuerdo con la base de datos.

Por otra parte, en la categorización de áreas temáticas, de acuerdo con el Programa Nacional de Investigación Forestal, evidenció que las áreas temáticas que más informes e investigaciones tienen son la de Manejo y Protección Forestal (179 documentos), Gestión Forestal Local (54 documentos), Funcionalidad Ecosistemática (30 documentos), Industria y Comercio Forestal (26 documentos), Recursos Genéticos (11 documentos) y Diversidad Biológica y Ecosistemática (10 documentos).

Por último, se realizó una revisión de documentos del DIF disponibles para la descarga en la página del INAB, donde, para septiembre de 2018, había disponibles 80 documentos, representando un 23.67 % del total de informes e investigaciones del DIF.

3.4 SERVICIO 3: Revisión del listado de especies forestales

3.4.1 Introducción

El INAB maneja un listado de especies forestales a nivel nacional, el cual se revisa anualmente con la ayuda de catálogos botánicos en línea, tales como Catalogue Of Life, Tropicos y The Plant List; esto con la finalidad de actualizar y depurar especies en el listado.

Este listado de especies forestales se encuentra disponible en la página del INAB, con el objetivo de facilitar la información de las especies para incentivos forestales, licencias de manejo y aprovechamiento, etcétera.

3.4.2 Objetivos

A. Objetivo general

Realizar una revisión del listado de especies forestales, para su actualización anual.

B. Objetivo específico

1. Apoyar con la actualización del listado de especies forestales, correspondiente al año 2018.

3.4.3 Metodología

La revisión de la base de datos de las especies forestales, que tiene como objetivo la actualización del listado de especies forestales del 2018.

La actividad consistió principalmente en el escrutinio de los campos del código de la especie, nombre científico, autor, sinónimos, nombre común, usos, tipo de especie, procedencia, si es nativa, si es conífera o latifoliada, y si aparece en el apéndice de CITES; lo cual, mediante catálogos botánicos (Tropicos.org, Catalogueoflife.org, Theplantlist.org) se fue corroborando una a una las especies de la base de datos, y así actualizando la información contenida en los diferentes campos contenidos.

Se realizó una codificación de color para diferencias tres aspectos:

Como se puede visualizar en la figura 35, el color rojo (A), es que el nombre de la especie es ahora es un sinónimo; el color azul o amarillo (B), significa que el nombre científico de la especie cambió (así mismo, su código); y por último, el color verde (C), significa que es el nombre científico aceptado y/o correcto, de las que son un sinónimo.

1	Codigo	Nombre_Cientifico	Autor	Sinonimos
A	QUERFL	<i>Quercus flagellifera</i>	Trel.	<i>Quercus seemannii</i>
B	QUERUN	<i>Quercus ungeri</i>	Kotshchy	<i>Quercus aegilops</i> subs. <i>Ungeri</i> , <i>Quercus globularis</i> , <i>Quercus ithaburensis</i> subs. <i>Ungeri</i>
C	QUERIN	<i>Quercus insignis</i>	M. Martens & Galeotti	<i>Quercus davidsoniae</i> , <i>Quercus insignis</i> var. <i>strombocarpoides</i> , <i>Quercus schippii</i> , <i>Quercus se</i>
C	QUERLA	<i>Quercus lancifolia</i>	Schltld. & Cham.	<i>Quercus aaata</i> , <i>Quercus boqueronae</i> , <i>Quercus corrugata</i> , <i>Quercus corrugata</i> var. <i>granulife</i>

Fuente: Extraído de la base de datos de especies forestales (633 – 759).

Figura 35. Codificación de color, de acuerdo con el tipo de cambio que tienen las especies forestales.

3.4.4 Resultados

Se realizó una revisión y actualización de 253 especies forestales; mediante ésta, se identificaron 16 especies de las cuales se había modificado el nombre científico, las cuales se muestran en el cuadro 40.

Cuadro 40. Listado de especies forestales que cambiaron de nombre científico (2018).

CAMBIO DE NOMBRE CIENTÍFICO		
No.	CÓDIGO	NOMBRE CIENTÍFICO
1	ANNOPA	<i>Annona papilionella</i> (Diels) H. Rainer
2	ARACMA	<i>Arachnothryx macrocalyx</i> (Standl. & Steyerl.) Borhidi
3	CORDDE	<i>Cordia dentata</i> Poir.
4	GARCIN	<i>Garcinia intermedia</i> (Pittier) B. Hammel
5	PALIEU	<i>Palicourea eurycarpa</i> (Standl.) C.M. Taylor
6	PODAST	<i>Podachaenium standleyi</i> (Steyerl.) B. L. Turner & J. Panero
7	POUTRE	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma
8	QUALTR	<i>Qualea trichanthera</i> Spruce ex. Warm
9	QUERUN	<i>Quercus ungeri</i> Kotshchy
10	QUERCS	<i>Quercus castanea</i> Née
11	QUERRO	<i>Quercus robur</i> subs. <i>robur</i>
12	RAPAFE	<i>Myrsine coriacea</i> subsp. <i>coriacea</i>
13	SCHAFR	<i>Schaefferia frutescens</i> Jacq.

Continuación cuadro 40.

CAMBIO DE NOMBRE CIENTÍFICO		
No.	CÓDIGO	NOMBRE CIENTÍFICO
14	SEBATU	<i>Pleradenophora tuerckheimiana</i> (Pax & K. Hoffm.) A.L.Melo & Esser
15	SENNAT	<i>Senna atomaria</i> (L.) H. S. Irwin & Barneby
16	TOXIST	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze

Así mismo, se encontraron 8 nombres científicos que figuran en el listado de especies forestales, siendo éstos ahora sinónimos. En el cuadro 41 se muestra el sinónimo, con su correspondiente nombre aceptado.

Cuadro 41. Nombres científicos, que ahora figuran como sinónimos.

SINÓNIMOS			
CÓDIGO	NOMBRE CIENTÍFICO ACEPTADO	CÓDIGO	SINÓNIMO (NOMBRE CIENTÍFICO)
QUERLA	<i>Quercus lancifolia</i> Schltl. & Cham.	QUERAA	<i>Quercus aaata</i> C. H. Mull.
		QUERPI	<i>Quercus pilarius</i> Trel.
		QUERPL	<i>Quercus pilicaulis</i> Trel
QUERCR	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	QUERBR	<i>Quercus brachystachys</i> Benth
QUERAU	<i>Quercus acutifolia</i> Née	QUERCO	<i>Quercus conspersa</i> Benth.
QUERIN	<i>Quercus insignis</i> M. Martens & Galeotti	QUERDA	<i>Quercus davidsoniae</i> Standl.
QUERSE	<i>Quercus seemannii</i> Liebm.	QUERFL	<i>Quercus flagellifera</i> Trel.
SAPILA	<i>Sapium lateriflorum</i> Hemsl.	SAPINI	<i>Sapium nitidum</i> (Monach.) Lundell

Se cambió un total del 6.32 % de la base de datos de especies forestales, basándose en el nombre científico aceptado; y se encontró también, que el 3.16 % de ésta, contenía sinónimos (cuadro 42).

Cuadro 42. Resumen de actualización, de acuerdo con el tipo de cambio.

TIPO DE CAMBIO	NÚMERO	%
Nombres científicos que cambiaron	16	6.32
Se volvieron sinónimos	8	3.16

3.4.5 Evaluación

Se participó en la revisión y actualización anual (2018) del listado de especies forestales a nivel nacional que maneja el INAB, donde, se revisó 253 especies forestales. De éstas, 16 especies se les actualizó el nombre (también su codificación); así mismo, se encontraron 8 nombres científicos que figuran en el listado de especies forestales, siendo éstos ahora sinónimos.

3.5 BIBLIOGRAFÍA

1. Cifuentes Barrientos, JG. 2010. Evaluación y monitoreo de plantaciones forestales de Guatemala. Guatemala, Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, Proyecto FODECYT no. 0.78-2007. Consultado 16 set. 2018. Disponible en <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202007.78.pdf>
2. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2015. Programa nacional de investigación forestal. Santa Cruz, RÁ; Ramírez, R (eds.). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Departamento de Investigación Forestal, Dirección de Desarrollo Forestal. 68 p. Disponible en 170.239.56.106/inab/images/investigacion/programa_nacional_investigacion_forestal_inab.pdf%0D
3. _____. 2018a. Boletas de campo, plantaciones. Consultado 25 jun. 2018. Disponible en http://ppm.inab.gob.gt/docs/boletas_de_campo_plantaciones.pdf
4. _____. 2018b. Sistema de información basado en parcelas permanentes. Consultado 14 ago. 2018. Disponible en <https://mangomap.com/desarrollo-forestal/maps/a6a75088-10b7-11e7-ab89-06c182e4d011/mapa-de-parcelas-permanentes-de-medici-n-forestal-?preview=true#>
5. Salazar Arana, MR. s. f. Propuesta de procedimientos para el establecimiento y seguimiento de parcelas permanentes de medición forestal en plantaciones beneficiarias del PINFOR. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. Disponible en http://ppm.inab.gob.gt/docs/metodologia_ppm_plantaciones.pdf



3.6 ANEXOS

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

Formulario 1. BOLETA DE DESCRIPCIÓN DE LA FINCA**

Código de país: ¹ Código del proyecto: ² Numero de la Región-Finca: - ³

Nombre de la Finca: _____ ⁴

Nombre del propietario: _____ ⁵

Tipo de propietario: ⁶
 0=no hay información, 1=individual, 2=terreno comunal, 3=grupo organizado, 4=industria estatal
 5=instituto o agencia estatal, 6=industria privada, 7=instituto o agencia privada, 8=otro: _____

Ubicación de la finca al pueblo o lugar poblado mas cercano (distancia aproximada en km) _____ ⁷

Localización política (Departamento, Municipio, Aldea, Caserío, etc.) _____ ⁸

Coordenadas GTM X _____ ⁹ Y _____ ¹⁰

Elevación: ¹¹ Pendiente promedio (%) ¹²

Código de fuego ¹³
 0=no hay información, 1=nunca, 2=raro (menos de una vez por año),
 3=anuales (1 por año) 4=frecuentes (varias veces por año)

Frecuencia de heladas ¹⁴
 0=no hay información, 1=nunca, 2=raro (al menos una vez al año),
 3=comun (varias veces al año) 4=periodico (estacional)

Indicar fechas del periodo: de - - a - - ¹⁵

Cantidad de meses secos ¹⁶

Indicar fechas de - - a - - ¹⁷

Área de la finca (ha) _____ ¹⁸ Area de plantación forestal (ha) _____ ¹⁹

Contacto en finca para coordinar mantenimiento del (los) experimento (s): _____ ²⁰

Nombre: _____ ²¹

Cargo: _____ ²² Número de teléfono: _____ ²³

Notas:

**Modificado de Form. 1 de MIRA-SILV , CATIE 2002; Tomado del sistema MIRA-SILV Versión 2.3, 2003

Figura 36A. Formulario 1, boleta de inscripción de la finca.

BOLETA DE DESCRIPCIÓN DE LA FINCA.

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
- 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
- 3 Anote el número de Región y Subregión del INAB (00) – Seguido del número de la finca dentro del proyecto o Subregión (000).
- 4 Anote claramente el nombre de la finca.
- 5 Anote el nombre del dueño de la finca.
- 6 Anote el código correspondiente que describa la clasificación o tipo de propietario de la finca.
- 7 Anote la ubicación del sitio y distancia en Km del lugar poblado más cercano a la finca.
- 8 Anote la localización política de la finca (Departamento, Municipio, Aldea, Cantón, caserío, etc.
- 9 y 10 Anote una coordenada GTM promedio de la finca o bien, del casco o casa patronal.
- 11 Anote la elevación promedio de la finca en msnm.
- 12 Anote la pendiente promedio de la finca en porcentaje.
- 13 Anote el código correspondiente que describa el riesgo de incendio dentro de la finca
- 14 y 15 Anote el código correspondiente que describa la frecuencia con que ocurren heladas en la finca; en caso de ser periódico o estacional, indicar las fechas aproximadas del periodo en las casillas del numeral 15
- 16 y 17 Anote la cantidad de meses secos; indicando las fechas aproximadas del periodo en las casillas del numeral 17
- 18 Anote el área de la finca en hectareas
- 19 Anote el área dentro de la finca que correspondiente a plantaciones forestales
- 20 Anote el nombre de un contacto en la finca, con el que se deban coordinar las visitas a la finca
- 21 Anote el cargo del contacto en la finca, este puede ser el encargado, guardian, caporal o regente forestal
- 22 Anote el teléfono del contacto en la finca
- 23 Anote cualquier información adicional que caracterice la finca, o bien que aporten insumos para realizar las visitas de campo.

Figura 37A. Formulario 1, boleta de descripción de la finca.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

Formulario 2. BOLETA DE DESCRIPCIÓN DE EXPERIMENTO**

Código de país: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Código del proyecto: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	No. serial del experimento: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Numero de la Región-Finca: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> - <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Número total de rodales: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	
Código del tipo de experimento: Asignar P=Parcelas individuales	Número total de repeticiones: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Asignar cero (0)
Código de estado del experimento: Asignar AS = Activo sin cambio	Area del rodal (ha) <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	
Fecha de inicio de evaluación del Experimento (dd-mm-aaaa):	<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> - <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> - <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	
Duración esperada del experimento (años): <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Número total de parcelas del experimento: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Eliminación de la vegetación: 1=manual, 2=mecánico, 3=químico, 4=fuego, 6=animal códigos en orden de importancia (hasta 3 opciones)		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Código del método de preparación del suelo antes de la plantación: 0=no hay información, 1=ninguno, 2=arado completo, 3= arado en surcos 4=subsolado en surcos, 5=terrazas individuales, 6=terrazas continuas, 7=otros: _____		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Método de establecimiento de la plantación: 0=no hay información, 1=manual, 2=mecánico o aéreo, 3=manual+mecánico		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Código de tipo de vegetación utilizada en la plantación: 0=no hay información, 1=plantación, 2=siembra directa , 3=vegetación natural, 4=vegetación natural interplantada , 5=vegetación natural + siembra directa.		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Código de material vegetativo utilizado en la plantación: 0=no hay información, 1= semilla , 2=planta en bolsa plástica, 3=planta en otro tipo de envase, 4=estaca pequeña, 5=estaca tipo poste, 6=pseudo-estaca (con poda de raíz y/o de hojas) , 7=raíz desnuda, 8 = trasplante de regeneración natural , 9=especificar otro tipo: _____		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Código de topografía: 1=suave (0 a 12%), 2=moderado (12 a 25%), 3=pronunciado (25 a 50%), 4=muy pronunciado (50 a 75%), 5=escarpado (mayor de 75%)		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Fertilización durante la plantación: 0=no hay información, 1=no, 2 = si		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Fórmula o tipo del fertilizante usado(macro y micro elementos, u orgánico):		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Cantidad de fertilizante: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Fecha de fertilización: <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> - <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>	<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Unidad de aplicación del fertilizante : 1=g/árbol, 2=kg/ha, 3=ml/árbol, 4=lb/ha; 5=otro: _____		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Método de aplicación del fertilizante : 0=no hay información, 1=en el hoyo, 2=alrededor del árbol, 3= disperso en la plantación, 4=en líneas , 5 = follaje , 6=aéreo, 7=especifique otro tipo de aplicación: _____		<input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/>
Notas:		

**Modificado de Form. 2 de MIRA-SILV , CATIE 2002; Tomado del sistema MIRA-SILV Versión 2.3, 2003

Figura 38A. Formulario 2, boleta de descripción de experimento.

BOLETA DE DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
- 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
- 3 Anote el número serial del experimento o grupo de parcelas (1 por rodal) dentro del proyecto ó empresa.
Anote el numero de Región y Subregión del INAB (00) – Seguido del número de la finca dentro del proyecto o Subregión (000).
- 5 Número total de rodales dentro de la finca.
- 6 Anote el área o extensión del rodal en hectáreas
- 7 Anote la fecha de inicio de la evaluación del experimento (día-mes-año)
- 8 Anote la duración de espera del experimento en años, preferiblemente debe indicarse el turno de la plantación.
- 9 Anotar el numero total de parcelas dentro del experimento
- 10 Anote el código correspondiente al método de eliminación de la vegetación, hasta 3 opciones en orden de prioridad.
- 11 Anote el código del método de preparación del suelo antes de la plantación.
- 12 Anote el método de establecimiento de la plantación.
- 13 Anote el código de tipo de vegetación utilizada en la plantación.
- 14 Anote el código del material vegetativo utilizado en la plantación.
- 15 Anote el código de la topografía que caracterice el rodal.
- 16 Anote el código de fertilización durante la plantación.
- 17 Anote la fórmula o tipo del fertilizante.
- 18 Anote la cantidad de fertilizante.
- 19 Anote la fecha en que se realizó la fertilización
- 20 Anote el código de la dimensión de la cantidad de fertilizante aplicado.
- 21 Anote el código del método de aplicación del fertilizante.
- 22 Anote cualquier información adicional que caracterice el Experimento, Rodal o grupo de parcelas, o bien que influya en el crecimiento del mismo.

Figura 39A. Formulario 2, boleta de descripción del experimento.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

Formulario 3. BOLETA DE CROQUIS DEL EXPERIMENTO**

(El croquis debe incluir la ubicación de las parcelas del experimento)

Código de país: ¹ Código del proyecto: ² No. serial del experimento: ³
 Numero de la Región-Finca: - ⁴ Número serial del rodal dentro de la finca: ⁵
 Código de la Especie: ⁶

Esquema del experimento, de acuerdo al diseño en el campo, con orientación al norte

**Modificado de Form. 4a de MIRA-SILV, CATIE 2002; Tomado del sistema MIRA-SILV Versión 2.3, 2003

Figura 40A. Formulario 3, boleta de croquis del experimento.

BOLETA DE CROQUIS DEL EXPERIMENTO.

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
- 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
- 3 Anote el número serial del experimento o grupo de parcelas (1 por rodal) dentro del proyecto ó empresa.
- 4 Anote el numero de Región y Subregión del INAB (00) – Seguido del número de la finca dentro del proyecto o Subregión (000).
- 5 Número total de rodales dentro de la finca.
- 6 Anote el código de la especie, correspondiente a 4 caracteres para género y 2 caracteres para especie; use "MIXTAS" para mezclas de especies.

Figura 41A. Formulario 3, boleta de croquis del experimento.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

Formulario 4. BOLETA DE DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA**

Código de país: ¹ Código del proyecto: ² No. serial del experimento: ³

Numero serial de la Parcela: ⁴ Número serial del rodal dentro de la finca: ⁵

Código de la parcela: ⁶ Número serial de repeticiones: Asignar cero (0)

Especie de la parcela: ⁷ Numero de arboles originales en la parcela: ⁸

Fecha de establecimiento de la plantación (dd-mm-aaaa): - - ⁹

Espaciamiento (cm) X X ¹⁰ Pendiente promedio de la parcela (%) ¹¹

Area de la parcela: ¹² Unidad: 1=m², 2=m ¹³

Nombre del rodal o Número de expediente de PINFOR _____ ¹⁴

Numero de correlativo de nota de control de plantas o de semilla _____ ¹⁵

Banco o entidad que suministro la semilla _____ ¹⁶

Código de frecuencia de inundaciones ¹⁷
0=no hay información, 1= nunca , 2=raro (menos de 1 vez al año), 3=ocasional (1 a 3 veces por año),
4=frecuente (mas de 3 veces por año) , Indicar promedio del tiempo que pasa inundado _____

Código del drenaje superficial ¹⁸
No limitante: 1=excesivo, 2=bueno, 3=Imperfecto, Limitante: 4=pobre, 5=nulo, 6=cenagado

Código de pedregocidad superficial ¹⁹
No limitante: 1=libre o ligeramente pedregosa (menos del 5%), 2=moderadamente pedregosa (5 a 20%)
Limitante: 3=Pedregosa (21 al 50%), 4=muy pedregosa (50 a 90%)

Código de aspecto geográfico o exposición de la parcela ²⁰
0=no hay información, 1=Norte, 2=Este, 3=Sur, 4=Oeste, 5=llano, 6=Noreste, 7=Noroeste, 8=Sureste, 9=Suroeste

Código de erosion: ²¹
0=no hay información, 1=ninguna, 2=moderado, 3= severo, 4=Muy severo,
5 =se observan surcos , 6=se observan carcavas, 7=especifique otro tipo: _____

Clase textural ²²
AA=Arena pura, AL=Arena limosa, LA=Limo arenoso, LL=Limo puro, Aa=Arena arcillosa, AF=Arena franca, FA=Franco arenoso, LF=Limo franco,
La=Limo arcilloso, aA=Arcilla arenosa, FA=Franco arcilloso, AF=Arcilla franca, FL=Franco limoso, aL=Arcilla limosa, aa=Arcilla pura

Clasificación de suelo de acuerdo con Carta o Tabla de Colores de Suelo Munsell H ²³

Nota: Determinar en primer horizonte organico (aproximadamente de 0 a 30 cm de profundidad) S ²⁴

Coordenadas GTM X _____ ²⁵ Y _____ ²⁶

Eventos o sucesos dentro de la parcela como raleos, podas, incendios, etc: (indicar fechas e intensidades) ²⁷

**Modificado de Form. 3 de MIRA-SILV , CATIE 2002; Tomado del sistema MIRA-SILV Versión 2.3, 2003

Figura 42A. Formulario 4, boleta de descripción de la parcela.

BOLETA DE DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA.

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
- 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
- 3 Anote el número serial del experimento o grupo de parcelas (1 por rodal) dentro del proyecto ó empresa.
- 4 Anote el número serial de la parcela dentro del experimento
- 5 Anote el número serial del rodal dentro de la finca (hasta 5 caracteres numéricos).
- 6 Anote el número del código de la parcela (formado por el código de la especie y el número de la parcela).
- 7 Anote el código de la especie, correspondiente a 4 caracteres para género y 2 caracteres para especie; use "MIXTAS" para mezclas de especies.
- 8 Anote el número de árboles originales plantados o establecidos en la parcela de medición.
- 9 Anote la fecha de plantación (dd/mm/aaaa)
- 10 Anote el espaciamiento original entre árboles (cm); emplear dos casillas para distribución al cuadro y tres para plantaciones al tresbolillo; deje en blanco para espaciamiento irregular.
- 11 Anote pendiente promedio de la parcela en porcentaje.
- 12 Anote el área medida en la parcela de medición.
- 13 Anote la unidad en que se mide el área de la parcela.
- 14 Anote algún nombre con el que sea conocido el rodal dentro de la finca o bien el número del expediente de PINFOR, principalmente cuando el proyecto sea mayor de 45 hectareas.
- 15 Anotar el número de correlativo de nota de control de plantas o de semilla extendida por el INAB, o bien, el proporcionado por el Banco de semillas donde fue adquirida la semilla.
- 16 Anote el banco o entidad que suministró las semillas.
- 17 Anote el código de frecuencia de inundaciones.
- 18 Anote el código del drenaje superficial (clasificación de ECUT).
- 19 Anote el código de pedregosidad (clasificación de ECUT).
- 20 Anote el código de aspecto geográficos o exposición de la parcela.
- 21 Anote el código de erosión de acuerdo a las observaciones dentro de la parcela
- 22 Anote la clase textural que determine en campo a través del tacto (emplear anexo 1)
- 23 Anote el color de suelo determinado con Carta o Tabla de Colores de Suelo Munsell en suelo húmedo
- 24 Anote el color de suelo determinado con Carta o Tabla de Colores de Suelo Munsell en suelo seco
- 25 Anote coordenada GTM en eje X
- 26 Anote coordenada GTM en eje Y
- 27 **IMPORTANTE:** Anotar los sucesos o eventos identificados durante la medición, anotar fecha del evento y demás información relacionada con la dinámica de la plantación.

Figura 43A. Formulario 4, boleta de descripción de la parcela.

BOLETA DE CROQUIS DE ARBOLES DENTRO DE LA PARCELA.

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
 - 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
 - 3 Anote el número serial del experimento o grupo de parcelas (1 por rodal) dentro del proyecto ó empresa.
 - 4 Anote el número de Región y Subregión del INAB (00) – Seguido del número de la finca dentro del proyecto o Subregión (000).
 - 5 Anote el número serial del rodal dentro de la finca (hasta 5 caracteres numéricos).
 - 6 Anote el código de la especie, correspondiente a 4 caracteres para género y 2 caracteres para especie; use "MIXTAS" para mezclas de especies.
 - 7 Anote el número serial de la parcela dentro del experimento
- Indicar y emplear el norte como referencia, para ubicar los arboles dentro de la parcela, se recomienda emplear las intersecciones de la cuadrícula para indicar la postura de un arbol. Asignar el numero del árbol en las intersecciones y en caso de estar muerto, colocar el código -99 en vez del número.

Figura 45A. Formulario 5, boleta de croquis de árboles dentro de la parcela.

BOLETA DE MEDICION DE ARBOLES EN PIE.

- 1 Código del país (código internacional de 2 caracteres alfabéticos, Guatemala = GT).
- 2 Anote el código del Proyecto, Usuario, Institución o Reforestador (hasta tres caracteres alfanuméricos)
- 3 Anote el número serial del experimento o grupo de parcelas (1 por rodal) dentro del proyecto ó empresa.
- 4 Anote el número serial de la parcela dentro del experimento
- 5 Anote el número serial del rodal dentro de la finca (hasta 5 caracteres numéricos).
- 6 Anote el número de Región y Subregión del INAB (00) – Seguido del número de la finca dentro del proyecto o Subregión (000).
- 7 Anote el nombre de la finca
- 8 Anote el número del código de la parcela (formado por el código de la especie y el número de la parcela).
- 9 Anote la fecha exacta en que se realizó la medición, si esta dura más de un día, se coloca la del último día de medición.
- 10 Anote el número de árboles vivos dentro de la parcela, de preferencia anotarlo al final de la medición.
- 11 Indique el tipo de dimensional en que fue tomado y anotado el DAP
- 12 Indique el tipo de dimensional en que fue tomado y anotada la Altura.
- 13 Anote el nombre del anotador de datos en la boleta, seguido del personal que participó en la medición de campo; de preferencia anotar el nombre de algún participante por parte de la finca.
- 14 Anote el numero serial correspondiente a cada árbol que mide dentro de la parcela
- 15 Si tiene varios ejes y los esta midiendo, indique el número de cada uno.
- 16 Anote el diámetro a la altura del pecho, preferiblemente en milímetros para evitar los decimales.
- 17 Anote la altura total del árbol, preferiblemente en decímetros para evitar los decimales.

Use estas columnas para describir hasta cuatro códigos de forma para cada árbol y haga una marca en las casillas correspondientes (utilice los códigos al pie de la boleta). Tenga en cuenta que cuando se asigna el código "L" es preferible no asociarlo con otro porque se aduce que son los arboles de mejor forma.

- 19 Use estas columnas para describir hasta dos códigos de sanidad para cada árbol.

Códigos de Estado Sanitario	Copa muerta	Parte afectada
a: Vigoroso	g: Menos que un tercio de copa muerta	d: afectado eje principal
b: Muerto en pie	h: De 1 a 2 tercios de copa muerta	e: afectado ramas superiores
c: Muerto caído	i: Más de 2 tercios de copa muerta.	

- 20 Anotar otras variables que se midan, como ángulo de inclinación de ramas/grados; altura comercial del eje; diámetro comercial superior del eje, diámetro de copa del eje, o bien en caso de plantaciones MIXTAS, para indicar el nombre común o el código del nombre técnico de la especie a la que pertenece cada árbol.

Deje en blanco las variables cuando no exista información

Añada los números de los ejes después del número del árbol. Trate cada eje como un árbol individual, para medición o para calificación de forma de fuste y defectos

Generalmente los ejes se numeran desde el más grueso hasta el más delgado.

Llene con el código -99 los valores en la medición para árboles muertos o volteados y con -88 para arboles vivos pero que no se midieron

Figura 47A. Formulario 6, boleta de medición de árboles en pie.



Figura 48A. CDs correspondientemente revisados.

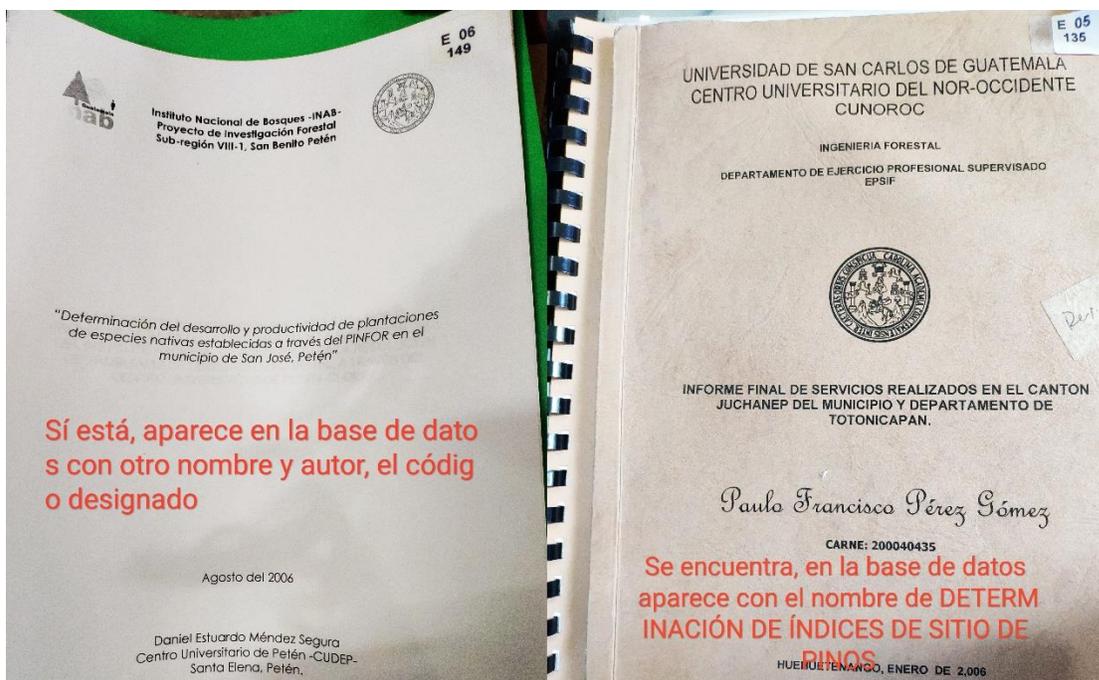


Figura 49A. Revisión de documentos físicos en CINFOR.



Figura 50A. Documentos revisados y ordenador en CINFOR.

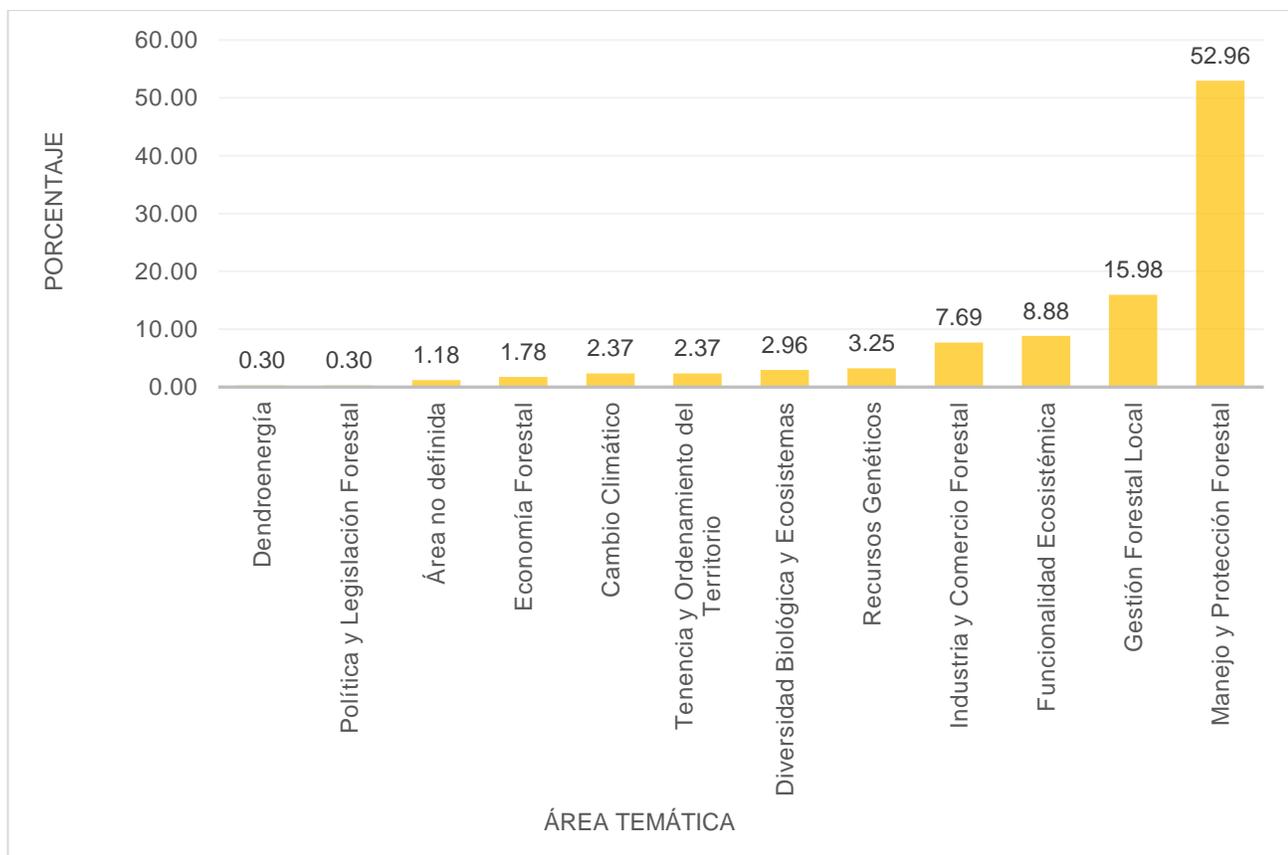


Figura 51A. Gráfica de porcentajes de áreas temáticas de acuerdo con el Plan de Investigación Forestal.



Figura 52A. Presentación de resultados de diagnóstico y servicios realizados en el Departamento de Investigación Forestal, Dirección de Desarrollo Forestal, INAB.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - FAUSAC -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES - IIA -



REF. Sem. 04/2020

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE, DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A."

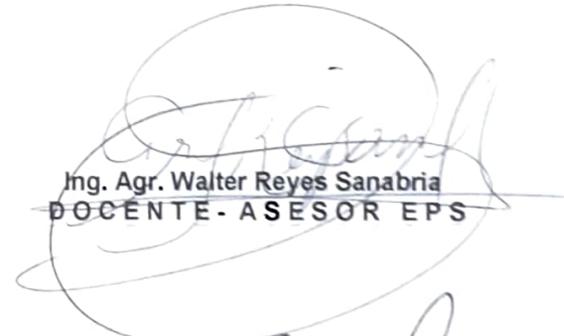
DESARROLLADO POR LA ESTUDIANTE: ANDREA STEFANIA SOLOMBRINO VÉLIZ

CARNE: 201310563

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Oscar Medinilla
Dr. José Vicente Martínez
Ing. Agr. Walter Reyes Sanabria

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.


Dr. José Vicente Martínez
ASESOR ESPECIFICO


Ing. Agr. Walter Reyes Sanabria
DOCENTE - ASESOR EPS


Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA



WNR/nm
c.c. Archivo

Ref. SAIEPSA.16.Seg.2020

Guatemala, 8 de octubre de 2020

TRABAJO DE GRADUACIÓN: ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE, DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

ESTUDIANTE: ANDREA STEFANIA SOLOMBRINO VÉLIZ

No. CARNÉ 201310563

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:

“ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.”

LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Oscar Medinilla
Dr. José Vicente Martínez
Ing. Agr. Walter Reyes Sanabria

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

“Id y enseñad a Todos”



Vo. Bo. Ing. Agr. M.A. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Area Integrada – EPS



cc.archivo
PPR/azud

No.26-2020

Trabajo de Graduación:	"ESTUDIO DE ASPECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN Y DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA A TERRESTRE, DE LA LAGUNA EL PINO, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A."
Estudiante:	Andrea Stefania Solombrino Véliz
Carné:	201310563

"IMPRÍMASE"

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

