

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
DOCTORADO EN CIENCIAS NATURALES PARA EL
DESARROLLO, ENFASIS EN GESTIÓN Y CULTURA AMBIENTAL**



**Desarrollo de un índice ambiental, como herramienta
para la gestión territorial a nivel municipal en Guatemala**

**Tesis sometida a consideración del tribunal evaluador como
requisito para optar al grado de Doctor en Ciencias Naturales
para el Desarrollo, con énfasis en Gestión y Cultura Ambiental**

Ing. Agr. Héctor Obdulio Alvarado Quiroa MSc

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
Septiembre 2016**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA**

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA



**Desarrollo de un índice ambiental, como herramienta
para la gestión territorial a nivel municipal en Guatemala**



**Trabajo de graduación sometido a consideración del tribunal
evaluador como requisito para optar al grado de Doctor en
Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión y
Cultura Ambiental**

Estudiante: Héctor Obdulio Alvarado Quiroa

**Director de Tesis: Dr. Freddy Araya Rodríguez
Asesor de Tesis: Dr. Tomás de Jesús Guzmán Hernández
Asesor de Tesis: Wagner Peña Cordero**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Septiembre 2016

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA**



**Desarrollo de un índice ambiental, como herramienta para la
gestión territorial a nivel municipal en Guatemala**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del tribunal
evaluador como requisito para optar al grado de Doctor en
Ciencias Naturales para el Desarrollo Sostenible, con énfasis en
Gestión y Cultura Ambiental**

**Héctor Obdulio Alvarado Quiroa
Sustentante**

Aprobada por los miembros del Tribunal Evaluador:

Dra. Floria Roa Gutiérrez
Representante Coordinación de
DOCINADE, quien preside

Dr. Freddy Araya Rodríguez
Director de Tesis

Dr. Tomás Guzmán Hernández
Asesor de Tesis

Dr. Wagner Peña Cordero
Asesor de Tesis

Dr. Freddy Muñoz Acosta,
Representante de Postgrados

Septiembre 2016

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA A:

Mi mamá y en memoria de mi papá, maestro de maestros: José Osmundo Alvarado Girón

A mi esposa, hijos y nietos

A mis compañeros docentes de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, por su amistad, compañerismo y apoyar el fortalecimiento de la División en busca de la excelencia académica

Al Programa DOCINADE, por darme la oportunidad de superarme en mi formación académica

AGRADECIMIENTOS A:

Dr. Fredy Araya Rodríguez, Director de Tesis

Dr. Tomás Guzmán Hernández, Asesor de Tesis

Dr. Wagner Peña, Asesor de Tesis

Dra. Floria Roa Gutiérrez

Por sus orientaciones y aportes durante mi formación en el DOCINADE pero especialmente para la realización de esta tesis

Ing. Julio de León Anleu, por su apoyo en la asesoría y el análisis estadístico de esta investigación

Dr. Luis Sánchez Midence, por sus aportes y la revisión del documento

Lic. Q.B. MSc. Alberto García Guillén, por su apoyo en el análisis de las muestras de agua

MA. Javier Zuñiga Cervantes y MA. Hugo García Hernández, por su apoyo y asesoría en los Sistemas de Información Geográfico

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	8
1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	11
1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	11
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. DEFINICIÓN DE ÍNDICE AMBIENTAL	13
2.2. EL ESTADO DEL ARTE DE LOS INDICADORES AMBIENTALES	15
2.2.1. Desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental en el mundo	15
2.2.2. Iniciativas de países latinoamericanos	16
2.2.3. El estado del arte en Guatemala	18
2.3. MARCO CONCEPTUAL Y FUNDAMENTOS PARA CONSTRUIR INDICADORES	20
2.3.1. El desarrollo sostenible	21
2.3.2. Indicadores ambientales para la gestión ambiental	23
2.3.4. Requerimientos técnicos de un índice. Limitaciones y ventajas	24

2.3.5.	Marcos orientadores propuestos para presentar indicadores	26
2.3.6.	Enfoques metodológicos	29
2.3.7.	Fuentes de estadística ambiental	30
2.4.	DISEÑO DE ÍNDICES DE DESARROLLO SOSTENIBLE	31
2.4.1.	Tipos de indicadores compuestos de desarrollo sostenible	31
2.4.2.	Metodología para la construcción de indicadores compuestos	34
2.4.3.	Métodos participativos para la construcción de indicadores	35
	El método Delphi	36
2.5.	CONSIDERACIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN LA GESTIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL	40
2.5.1.	Subsistema Físico.....	41
2.5.2.	Subsistema Biótico.....	42
2.6.	USO DE PLATAFORMAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO HERRAMIENTA PARA ANALIZAR Y VISUALIZAR INFORMACIÓN AMBIENTAL	43
III.	MARCO METODOLÓGICO	47
3.1.	DEFINICIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.1.1.	Método de investigación	47
3.1.2.	Definición del marco conceptual	47
3.1.3.	Definición del enfoque metodológico	48
3.2.	CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN	49

3.2.1.	Contexto Espacial	49
3.2.2.	Contexto Temporal	52
3.3.	PROCEDIMIENTO Y ETAPAS METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.3.1.	Revisión del marco conceptual y metodológico.....	54
3.3.2.	Selección preliminar de indicadores y sus respectivas variables.....	55
3.3.3.	Selección y ponderación de indicadores.....	57
3.3.4.	Normalización de variables	60
3.3.5.	Agregación de las variables	61
3.3.6.	Validación del indicador	62
IV.	RESULTADOS: GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL ..	67
4.1.	GENERACIÓN DEL INDICADOR CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT).....	69
4.1.1.	Definición del indicador.....	69
4.1.2.	Pertinencia del indicador	70
4.1.3.	Procedimiento para el cálculo	70
4.1.4.	Criterios de ponderación del indicador de conflicto de uso del territorio	73
4.1.5.	Ecuación de Síntesis del indicador Conflicto de uso del territorio (ICUT)	73
4.1.6.	Validación del indicador	74
4.2.	METODOLOGÍA PARA EL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES (ICAS)	74

4.2.1. Definición del indicador	74
4.2.2. Pertinencia del indicador	77
4.2.3. Procedimiento	78
4.2.4. Variables y su ponderación en el indicador de la calidad de agua superficial (ICAS)	78
4.2.5. Ecuación de síntesis para estimar el indicador de calidad de agua superficial (ICAS)	79
4.2.6. Interpretación de los resultados del indicador de la calidad de agua superficial (ICAS)	81
4.3. GENERACIÓN DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR)	82
4.3.1. Definición del indicador	82
4.3.2. Pertinencia del indicador	83
4.3.3. Criterios de ponderación de las variables del indicador gestión de residuos (IGR)	84
4.3.4. Ecuación de síntesis para agregar las variables en la estimación del indicador de gestión de residuos (IGR)	86
4.3.5. Validación del indicador	86
4.4. GENERACIÓN DEL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO (ISB)	87
4.4.1. Definición del indicador	87
4.4.2. Cálculo del indicador	88
4.4.3. Pertinencia del indicador	90

4.4.4. Criterio de ponderación de las variables del indicador del subsistema biótico (ISB)	92
4.4.5. Ecuación de síntesis para la agregación de variables para generar el indicador del subsistema biótico (ISB)	93
4.4.6. Validación del indicador	93
4.5. GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA GUATEMALA (ISAGT)	94
4.5.1. Definición del índice	94
4.5.2. Ponderación de los indicadores físico-biológicos que conforman el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)	95
4.5.3. Agregación de los indicadores que constituyen el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)	96
4.5.4. Validación del índice de sostenibilidad ambiental ISAGT	97
4.5.5. Interpretación del Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT)	101
V. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ISAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	103
5.1. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL (ISAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	104
5.2. INDICADOR CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.....	107
5.3. INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES (ICAS) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	111

5.4. INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	115
5.5. INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO (ISB) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	119
5.5.1. Cobertura forestal	119
5.5.2. Áreas Protegidas	120
5.5.3. Biodiversidad	122
5.5.4. Estado evolutivo de las áreas protegidas	123
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.1. CONCLUSIONES.....	125
6.2. RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPONENTES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE; INTERRELACIÓN ÁMBITOS SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL.	21
FIGURA 2. PIRÁMIDE DE LA INFORMACIÓN	24
FIGURA 3. MODELO DE REFERENCIA IMPULSO – ESTADO – RESPUESTA.	28
FIGURA 4. INTERACCIÓN DE LOS SUBSISTEMAS NATURAL Y ANTRÓPICO EN EL PROCESO DE GESTIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL.	41
FIGURA 5. IMPORTANCIA DEL SUBSISTEMA FÍSICO EN LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL TERRITORIO	42
FIGURA 6. IMPORTANCIA DEL MEDIO BIÓTICO EN LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL TERRITORIO	43
FIGURA 7. MAPA DE UBICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	50
FIGURA 8. ETAPAS METODOLÓGICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	53
FIGURA 9. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO.	70
FIGURA 10. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS).	77
FIGURA 11. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DEL INDICADOR DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR).	83
FIGURA 12. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DEL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO	87
FIGURA 13. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ISAGT) A PARTIR DE INDICADORES FÍSICO BIOLÓGICO.	95
FIGURA 14. MAPA DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL PARA GUATEMALA (ICAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	106
FIGURA 15. MAPA DEL INDICADOR DEL CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	109

FIGURA 16. MAPA DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	
.....	114
FIGURA 17. MAPA DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	
.....	118
FIGURA 18. MAPA DEL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICOS DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	
.....	124

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. INDICADORES DE POBREZA Y POBREZA EXTREMA DE LOS MUNICIPIOS DE LA MANCOMUNIDAD.....	51
CUADRO 2. CATEGORÍAS DE CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO.....	72
CUADRO 3. CRITERIOS DE PONDERACIÓN DEL INDICADOR DE CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT).....	73
CUADRO 4. PONDERACIÓN PROPUESTA PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES PARA ESTIMAR EL INDICADOR DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS).....	79
CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS) Y SU RESPECTIVA PONDERACIÓN.....	81
CUADRO 6. CRITERIOS Y PONDERACIÓN PARA LA GENERACIÓN DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR).....	85
CUADRO 7. VARIABLES, PONDERACIÓN, CRITERIOS Y VALOR PARA GENERAR EL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO (ISB).....	92
CUADRO 8. PONDERACIÓN DE CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS CON SUS RESPECTIVOS INDICADORES PARA LA GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ISAGT).....	96
CUADRO 9. VARIANZAS COMBINADAS ENTRE FACTORES (INDICADORES DEL ISAGT), CONSIDERADOS COMO INDEPENDIENTES.....	99
CUADRO 10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ORDENADOS POR RANKINGS.....	100
CUADRO 11. VALORACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA GUATEMALA (ISAGT).....	101
CUADRO 12. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ISAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.....	104
CUADRO 13. INDICADOR DE CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.....	108
CUADRO 14. VALOR DE LAS VARIABLES COLIFORMES TOTALES, PH, DBO5, NITRATOS Y FOSFATOS, DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.....	112

CUADRO 15. VALOR DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, TURBIDEZ, SÓLIDOS DISUELTOS Y OXÍGENO DISUELTO DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	113
CUADRO 16. CRITERIOS Y PONDERACIÓN PARA LA VALORACIÓN DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS, DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	116
CUADRO 17. CRITERIOS Y PONDERACIÓN PARA LA VALORACIÓN DEL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO, DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.	121

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT).....	137
ANEXO 2. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (ICAS).....	140
ANEXO 3. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR)	148
ANEXO 4. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE COBERTURA FORESTAL (ICF).....	151
ANEXO 5. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE COBERTURA DE ÁREAS PROTEGIDAS (ICAP)	153
ANEXO 6. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE PRESENCIA DE FLORA ENDÉMICA EN LAS ÁREAS PROTEGIDAS (IFE)	155
ANEXO 7. HOJA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE ESTADO EVOLUTIVO DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS (IEE).....	156
ANEXO 8. PROCESO DE DIGITALIZACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES DE GOOGLE EARTH	158
ANEXO 9. MODELO DE CUESTIONARIO DEL MÉTODO DELPHI	165
ANEXO 10. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE AGUA EN LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS	166

LISTA DE ACRÓNIMOS

BADEIMA	Base de datos de estadísticas e indicadores ambientales. División de Estadística y Proyecciones económicas. CEPAL
CDS	Comisión de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIESIS	Centro Internacional de Información de Ciencias de la Tierra
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPI	Environmental Performance Index
FAO	Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
ILAC	Iniciativa Latino Americana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible
INAB	Instituto Nacional de Bosques
LPI	Living Planet Index
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
URL	Universidad Rafael Landívar
WWF	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)

RESUMEN

Desarrollo de un índice ambiental, como herramienta para la gestión territorial a nivel municipal en Guatemala

Los indicadores de sostenibilidad ambiental, son herramientas que constituyen sistemas de señales que permiten evaluar el progreso de los países hacia el desarrollo sostenible. Hasta la fecha existen desarrollados indicadores globales, sin embargo, estos presentan inconvenientes al momento de pretender utilizarlos a nivel local, ya que la escala de estos es de país, por lo que no permiten evaluar y comparar la sostenibilidad ambiental a nivel de municipios, además necesitan de un gran número de variables, muchas de las cuales no se tiene información a nivel municipal.

En Guatemala a partir de los años ochenta, se desarrolló un marco legal e institucional en el tema ambiental, pero a pesar de ello la degradación y el deterioro de los recursos naturales se han convertido en un foco crítico. Por todo ello, el propósito de la presente investigación fue el de desarrollar un índice de sostenibilidad ambiental a través de un sistema de indicadores físico biológicos; el cual permitió combinar distintas fuentes de información en un valor unidimensional, con la finalidad de poder estimar y comparar el estado de la situación ambiental a nivel municipal.

El Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT) generado, se diseñó al combinar técnicas participativas para la selección y ponderación de variables, y herramientas estadísticas para su validación. Este quedó delimitado como una combinación lineal

de los indicadores aleatorios (X_j), con su respectiva ponderación (w_j) y se estimó a partir de siete indicadores, tres del subsistema físico (conflicto de uso del territorio, calidad de agua superficial y gestión de residuos) y cuatro del sub sistema biológico (cobertura forestal, cobertura de las áreas declaradas protegidas, flora endémica y estado evolutivo), los cuales agrupan un total de 19 variables.

A través de la validación del índice, la cual se realizó en los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala, se demostró que con la información ambiental disponible en los municipios y con la metodología desarrollada es factible integrar diferentes indicadores (físicos y biológicos) con sus respectivas variables, que influyen en el estado del ambiente a nivel local. Por lo tanto este índice, constituye la primera aproximación de contar en el país con una herramienta que permitirá detectar los conflictos, así como los logros y fracasos de las políticas ambientales, en la búsqueda de alcanzar el desarrollo sostenible a escala municipal.

Palabras clave: Indicadores ambientales en Guatemala, estado ambiental en Guatemala, sostenibilidad ambiental municipal, deterioro ambiental en Guatemala.

ABSTRACT

Development of an environmental index as a tool for territory management at the municipal level in Guatemala

Environmental sustainability indicators are tools that constitute signal systems that allow assessing progress of countries towards sustainable development. To date, global indicators have been developed, however, since they were developed at a country scale, their implementation at a municipal level fails when assessing and comparing municipalities. Furthermore, very often there is a lack of information due to the large number of variables required for the existing global indicators.

In spite of the legal and institutional framework developed during the 1980's in Guatemala, the degradation and deterioration of natural resources have become a critical issue to address. Therefore, the aim of this research was to develop an index of environmental sustainability through a system of physical-biological indicators, allowing the combination of different sources of information into a one-dimensional value in order to estimate and compare the environmental state at the municipal level.

The resulting Environmental Sustainability Index (ISAGT) was designed by combining participatory techniques for the selection and weighting of variables, and statistical tools for its validation. This was defined as a linear combination of random indicators (X_j), with their respective weights (w_j) and was estimated from eight indicators, three physical subsystem (conflict of land use, surface water quality and waste management) and five from the biological sub system (forest coverage, coverage of declared protected areas, endemic flora, and evolutionary state), which group a total of 19 variables.

Through validation of the index, which was done in the neighboring municipalities of the Metropolis Association of Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala, it was demonstrated that with the environmental information available in municipalities and the methodology developed, it is feasible to integrate different indicators (physical and biological) with their respective variables which influence the state of the environment locally. Hence, this index constitutes the first approach to have a tool in the country that will detect conflicts, as well as the successes and failures of environmental policies in the pursuit of sustainable development at municipal level.

Key Words: Environmental indicators in Guatemala, environmental state in Guatemala, municipal environmental sustainability, environmental deterioration in Guatemala.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Con el surgimiento del paradigma “Desarrollo Sostenible” (Naciones Unidas, 1987) a finales de los años ochenta, se perfiló a nivel mundial una visión integral sobre el desarrollo socioeconómico y su compatibilidad con el medio ambiente, este brinda nuevas perspectivas para realizar análisis temporal de largo plazo, considera las interrelaciones complejas existentes entre los elementos físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y políticos dentro de espacios territoriales específicos. Desde esta perspectiva, se han desarrollado una serie de trabajos en donde la gestión ambiental territorial (entendiéndose ésta como la planeación físico-espacial, que tiene como fin combatir las causas estructurales de la pobreza y marginación, a través del uso adecuado de los recursos naturales, la localización apropiada de las actividades productivas, la infraestructura, el equipamiento urbano y los servicios), surge como una estrategia básica para lograr este Desarrollo Sostenible y optimiza el aprovechamiento de cada territorio (Massiris Cabeza, 2002).

Por lo tanto, los indicadores de sostenibilidad ambiental son importantes para determinar el uso sostenible y el manejo de los recursos naturales en un espacio territorial determinado, ya que pueden orientar la formulación de políticas al proporcionar información acerca del estado actual, de la intensidad y la dirección de los posibles cambios de los recursos a evaluar, y resalta los problemas prioritarios. Además los indicadores de sostenibilidad ambiental, son herramientas que constituyen un sistema de señales que permiten evaluar el progreso de los países hacia el desarrollo sostenible (Segnestam, 2000).

Los Indicadores realizan muchas funciones que pueden conducir a tomar mejores decisiones y acciones más eficaces al simplificar, aclarar y hacer que la información agregada este a disposición desde los responsables políticos hasta el nivel técnico operativo. Ayudan a proporcionar una alerta temprana para evitar contratiempos económicos, sociales y medioambientales. También son herramientas útiles para comunicar ideas, pensamientos y valores (United Nations, 2007).

De acuerdo con Colina, Marquínez y García (2003) un sistema de indicadores eficaz deberá observar un fenómeno en un momento determinado, al ofrecer información sobre él, de mejor interpretación que la que procede de los niveles científico o técnico, además de permitir el monitoreo de los procesos o fenómenos que analiza. Por ello, uno de los requisitos más importantes de los indicadores incluidos en un sistema, es que sean reproducibles, lo que posibilitará la evaluación temporal de fenómenos y procesos, a través del análisis de un reducido conjunto de parámetros.

El desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental como los de desarrollo sostenible, se inicia a finales de la década del 80 en Canadá y en algunos países de Europa. Un impulso más fuerte se derivó de la Cumbre de la Tierra, ya que para poder controlar el avance de la Agenda 21 (United Nations, 1992), la Conferencia de Río creó la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), con el mandato de monitorear el progreso hacia dicho desarrollo. Se revelaba así la necesidad de contar con instrumentos para medir el avance hacia la sostenibilidad. Después de la Declaración de Río, la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) reiteró la necesidad de generar conjuntos de indicadores de monitoreo, por lo que en 1995, aprobó el programa de trabajo que tuvo como finalidad la generación de un listado de indicadores consensuados a nivel internacional, producto de lo cual se presentó el documento Indicadores de Desarrollo Sostenible Marco y Metodologías en 1996 (Schuschny y Soto, 2009).

Quiroga (2001) en el año 2001, hace un análisis del estado del arte y perspectivas, sobre el desarrollo de los indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible a nivel mundial e indica que se han incrementado notoriamente el trabajo y las publicaciones relativas a estos indicadores. El mayor adelanto ha ocurrido en los países desarrollados. Estos países han trabajado en forma autónoma y productiva en el impulso de indicadores de sostenibilidad ambiental, y han alcanzado notoriedad por la calidad de sus propuestas, tal es el caso de Canadá, Nueva Zelanda y Suecia. Cosa contraria ha sucedido en Latino América, donde el desarrollo de indicadores es incipiente y están siendo producidos por organismos gubernamentales de medio ambiente, siendo los países que lideran estas propuestas: México, Chile, Colombia y Costa Rica.

El Foro Económico Mundial en colaboración con el Centro de Derecho y Política Ambiental de la Universidad de Yale, en EEUU, y el Centro Internacional de Información de Ciencias de la Tierra (CIESIS), desarrolló el Índice Piloto de Sustentabilidad Ambiental (*Environmental Performance Index*, EPI), construido como elemento de un proyecto jerárquico. Este índice está basado en dos objetivos: a) La salud ambiental, conformado por tres categorías de política (carga de morbilidad ambiental, el efecto del agua sobre los humanos, la contaminación del aire y el efecto sobre humanos), y b) vitalidad del ecosistema conformado por siete categorías de política (contaminación del aire y su efecto sobre los ecosistemas, el efecto del agua sobre los ecosistemas, biodiversidad y hábitats, silvicultura, pesca, agricultura y cambio climático). El índice (EPI) utiliza datos específicos de países con base en 25 indicadores diferentes que varían desde calidad del aire y salud ambiental hasta reducción de la contaminación (Yale University, 2010).

Por otro lado, el *Living Planet Index* (LPI), elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), es una medida de la salud de los ecosistemas globales y la biodiversidad, con base en datos que muestran el cambio promedio a través del

tiempo en el estado de los bosques, agua dulce y ecosistemas marinos. Es un intento para cuantificar la extensión y severidad de la pérdida de la biodiversidad (Loh, J., Green, R., Ricketts, T., Lamoreux, J., Jenkins, M., Kapos, V., y Randers, J., 2005).

Desde esta perspectiva, en la década de los años 80 se desarrolla en Guatemala un marco legal e institucional en el tema ambiental, que incluye: La aprobación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Congreso de la República de Guatemala, 1986), en la cual se crea la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA); la Ley de Áreas Protegidas, Decreto No. 4-89 (Congreso de la República de Guatemala, 1989) la creación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). Este proceso legal e institucional, continúa en 1996 con la aprobación de la Ley Forestal Decreto No. 101-96 (Congreso de la República de Guatemala, 1996) y la creación del Instituto Nacional de Bosques (INAB), que sustituye al Instituto Nacional Forestal (INAFOR).

En el año 2000, se crea el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Congreso de la República de Guatemala, 2000) Decreto No 90-2000 Ley de Creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, como resultado de la fusión de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Presidencia de la República.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En los últimos años se ha llegado a un consenso mundial en relación a la necesidad de orientar los esfuerzos en la búsqueda del desarrollo sostenible. Además de un cambio de perspectiva acerca del desarrollo, el concepto del desarrollo sostenible implica nuevas demandas. Una de estas es la producción de información, lo cual debe jugar un papel crítico, puesto que ella puede proveer de bases firmes al proceso de toma de decisiones y al seguimiento del desarrollo. Tanto los tomadores de decisiones como los grupos meta, han manifestado un interés en realizar esfuerzos para diseñar mecanismos o herramientas útiles para evaluar la sostenibilidad del desarrollo en los países (Schuschny y Soto, 2009).

En la revisión regional de indicadores que realiza la Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible -ILAC- (PNUMA, 2011), indica que esta región contiene una gran riqueza cultural y ambiental. En su territorio se localizan, entre otros, siete países megadiversos, la mayor cuenca hidrológica por caudal del mundo y la mayor extensión de bosque tropical del planeta. Todo este patrimonio junto a la particularidad de los procesos de ocupación del espacio significó que el desarrollo económico de la región se haya basado de manera histórica, principalmente, en el aprovechamiento de los recursos naturales y en la explotación de los bienes y servicios que prestan los ecosistemas en la región. ILAC (PNUMA, 2011), establece que las relaciones que el ser humano establece con la naturaleza necesitan ser replanteadas en busca de un equilibrio sostenible que permita a su vez garantizar el desarrollo humano y el bienestar de la naturaleza; el seguimiento a los cambios en el medio ambiente es una necesidad primordial.

En Guatemala, la degradación ambiental y el deterioro de los recursos naturales se han convertido en un foco crítico, pero aún no se les ha dado la importancia debida. En la décimo cuarta cumbre de la ONU sobre cambio climático y medio ambiente,

que se realizó en Copenhague (COP14) en noviembre de 2009, se dio a conocer el documento: *“Evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres”* en el cual se sitúa a Guatemala entre los diez países con la más alta vulnerabilidad ambiental del planeta. Entre estos diez países, Guatemala ocupa el cuarto lugar en cuanto a la mayor vulnerabilidad a las inundaciones y deslaves (Harmeling y Eckstein, 2012).

Los indicadores representan importantes herramientas para la comunicación de información científica y técnica, ya que pueden facilitar el acceso a la misma por parte de diferentes grupos de usuarios, lo cual permite transformar esa información en acción. El desarrollo de herramientas fáciles de usar y el empleo de un marco conceptual común para el desarrollo de indicadores, facilitan no solo la transformación de datos en información útil, sino también la formulación de estrategias para la elaboración de políticas y la planificación (Quiroga, 2009).

Al analizar los índices globales desarrollados hasta la fecha, tales como el *Environmental Performance Index*, (EPI), de la Universidad de Yale (Yale University, 2010); la Huella Ecológica (Wackernagel y Rees, 2001); o *Living Planet Index* (LPI), elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (Loh, et al., 2005), presentan algunos inconvenientes al momento de utilizarlos a nivel nacional, pero especialmente a nivel municipal; entre estos están que su aplicación es de carácter global, la escala es a nivel de país y necesitan de un gran número de variables, de muchas de las cuales no se tiene información en el municipio.

A nivel nacional se han desarrollado estudios que contienen información valiosa sobre el estado de los recursos naturales y la situación ambiental. Tal es el caso de la publicación del Perfil Ambiental de Guatemala, elaborado por la Universidad Rafael Landívar de Guatemala). Este perfil se ha editado en cuatro ocasiones: 1984 (Universidad Rafael Landívar, IARNA, 1984), 2004 (Universidad Rafael Landívar,

IARNA, 2004), 2006 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2006) y el más reciente 2008-2009 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009).

Pero, a pesar de contar con toda esta información, no se pueden realizar comparaciones a nivel municipal respecto al estado de los recursos naturales y el medio ambiente, debido a que las variables se presentan a manera de inventario y la comparación de las mismas debe hacer individualmente, por consiguiente al generarse un sistema de indicadores ambientales propios, permitirán transformar un concepto multidimensional en un índice simple, que permita hacer estas comparaciones. Desde que la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) reiteró la necesidad de generar conjuntos de indicadores de monitoreo ambiental en el año de 1995 (Schuschny y Soto, 2009) y que Quiroga (2001) hace el análisis del estado del arte sobre el desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental, en Guatemala aún no se cuenta con instrumentos que sirvan para monitorear y explicar la sostenibilidad ambiental y la gestión de los recursos naturales.

Por todo ello, es necesario estimar un índice ambiental que permita combinar distintas fuentes de información en un solo valor, esto a través de elegir y desarrollar una serie de indicadores, que no solo brinden información, revelen condiciones y tendencias ambientales, sino que además puedan ser de utilidad en la estimación del estado del ambiente a nivel local, que permitan la planeación, uso y aprovechamiento sostenible del territorio.

Las preguntas de investigación que guiaron la presente investigación fueron: ¿Cómo desarrollar un índice que permita estimar y comparar el estado del ambiente a nivel municipal en Guatemala? ¿Con cuales indicadores físico-biológicos puede estimarse este índice? ¿Cuál es la validez del índice desarrollado, si se consideran las fuentes y la factibilidad técnica de información ambiental a nivel municipal?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

De acuerdo con Quiroga (2009) los problemas y desafíos de sostenibilidad que enfrentan los países latinoamericanos son inmensos, por lo que cada vez es más evidente la necesidad de construir y monitorear políticas públicas basándose en evidencias (como lo son los indicadores que se diseñan para mostrar los signos vitales de la dinámica ambiental y sus interrelaciones con las dinámicas sociales y productivas), para mejorar los procesos de decisión, formulación e implementación de estas políticas, y con ello responder en forma decidida y eficaz a la creciente demanda ciudadana, y a los diferentes grupos de usuarios de la información.

Los sistemas de indicadores, han ganado interés como una herramienta eficaz que contribuye a la formulación y el análisis de políticas públicas, así como su evaluación y comunicación. Los índices suelen ser empleados para establecer comparaciones acerca del desempeño de las unidades de análisis a partir de las cuales se calculan. Se puede afirmar que el uso de índices facilita la interpretación de los escenarios que deben considerar los tomadores de decisiones y que son una herramienta de suma utilidad para evaluar el desempeño de los países mediante los ejercicios de comparación, llamados “*benchmark*” (Schuschny y Soto, 2009). Los indicadores ambientales brindan información pertinente, veraz, actualizada y con una sólida base científica, que hacen evidentes los cambios y que, como fin último, apoyarán las decisiones políticas, y personales, que permitirán minimizar los impactos que se generan al medio ambiente (PNUMA, 2011).

El índice de sostenibilidad ambiental que se desarrolló con la presente investigación, está orientado a ofrecer información muy valiosa sobre la temática medioambiental, además de permitir también monitorear y dar seguimiento al desarrollo rural de Guatemala, por la estrecha relación de éste con la sostenibilidad ambiental. Desde la 29ª. Conferencia Regional de la FAO (FAO, 2006) se afirmó que “*el desarrollo*

rural debe tender al logro de la seguridad alimentaria, enfatizando su relación armónica con el medio ambiente y rescatando los modos de vida de la población rural". También se identifica que de acuerdo al Objetivo 1 de dicha conferencia: *"Erradicar la pobreza y el hambre"* (FAO, 2006, p. 11), las estrategias de reducción de la pobreza deben incluir elementos para mejorar la comprensión sobre las formas en que los ecosistemas naturales sustentan la agricultura y la producción rural.

En la Trigésimo Cuarta Conferencia Regional de la FAO (FAO, 2016), continúa la preocupación sobre la erradicación de la pobreza y el desarrollo rural, en esta conferencia también se establecen los retos para el uso sostenible de los recursos naturales, la gestión de riesgos y la adaptación al cambio climático, dentro del nuevo marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En ella se insiste, en la necesidad de seguir apoyando los temas de seguridad alimentaria y nutricional, la transformación del sector rural (desarrollo territorial rural, agricultura familiar, inclusión socioeconómica e innovación).

Esta investigación se enmarca en una línea relevante, dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, en particular el Objetivo 7 sobre *"Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente"* (Naciones Unidas, 2005). También proyecta contribuir a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible: 17 objetivos para transformar nuestro mundo, particularmente lo referente al objetivo 2, que enfatiza en la seguridad alimentaria, nutrición y promoción de la agricultura sostenible; al objetivo 6, sobre garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento; el objetivo 13, que destaca la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; y el objetivo 15 sobre el uso sostenible de los ecosistemas, bosques, luchar contra la desertificación, frenar la pérdida de la diversidad biológica (Naciones Unidas, 2015).

El desarrollo del índice de sostenibilidad ambiental, contribuirá a minimizar los riesgos, resaltar los impactos beneficiosos de la conservación de los recursos naturales, la rehabilitación de áreas degradadas y el manejo sostenible de los recursos naturales, a fin de reducir la vulnerabilidad de las poblaciones rurales por desastres naturales y antrópicos.

Las conclusiones y recomendaciones de la 34ª. Conferencia Regional de la FAO (FAO, 2016) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015), tienen una alta correspondencia con los problemas ambientales de Guatemala. Por lo tanto, desde la promulgación de la Agenda 21, son grandes los esfuerzos a nivel mundial, regional y local que buscan consolidar un sistema de indicadores que apoye a los tomadores de decisión en el diseño de la política y gestión ambiental del territorio, proceso que aún no se realiza en Guatemala.

Por otra parte, los informes ambientales del país, presentan las variables a manera de inventario, por consiguiente estático, que no permiten establecer claramente elementos de juicio y vínculos que conlleven a la identificación de las potencialidades, las características de oferta y demanda ambiental y de los conflictos entre ellas; tampoco admiten la relación entre indicadores para generar nueva información.

Para poder monitorear y explicar la sostenibilidad ambiental, es importante la realización de diagnósticos territoriales, como la herramienta que permita conocer la situación general de cada uno de los componentes del sistema. Para el caso de Guatemala, ha existido muy poco avance en la formulación de indicadores; por lo que es aún una tarea pendiente de desarrollo conceptual, metodológico e instrumental.

1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Al considerar las fuentes de información existentes a nivel municipal es factible integrar indicadores físico biológicos en un índice confiable, que permita determinar el estado del ambiente a nivel local.

1.5. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo general

Desarrollar un índice que permita la valoración y el análisis del estado del ambiente a nivel municipal, como herramienta de gestión territorial propio para Guatemala.

Objetivos específicos

- a. Generar la metodología para un sistema de indicadores físico biológicos, que integren el índice del estado del ambiente a nivel municipal.
- b. Determinar la confiabilidad del índice de sostenibilidad ambiental, considerando las fuentes de información y la factibilidad técnica existente a nivel municipal.
- c. Estimar el índice de sostenibilidad ambiental de los municipios conurbados de la Mancomunidad de la Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DE ÍNDICE AMBIENTAL

Para Gallopin (1997, p. 22), “*en un sentido general, un indicador es un signo*”. Esta definición parte de la etimología de la palabra “indicador”, que proviene del verbo latín *indicare*, cuyos significados incluyen: resaltar, indicar, anunciar, dar noticia, determinar y estimar. Tiene dos implicaciones fundamentales que sientan las bases para establecer lo que debemos entender por indicador. En efecto, se establece una clara diferencia entre un indicador y un dato; el primero indica algo acerca de un tema de estudio más allá de su simple expresión numérica o cualitativa, expresiones que representan el dato como tal. El indicador relaciona cualquier tipo de información que indique algo acerca de un tema de estudio en particular. El indicador es información; el dato es el insumo (“la materia prima”) que alimenta la estimación del indicador.

Un indicador corresponde a una o más variables combinadas, que adquiere distintos valores en el tiempo y en el espacio, y entrega señales al público y a los decisores acerca de aspectos fundamentales o prioritarios en el proceso de desarrollo, en particular respecto a las variables que afectan la sostenibilidad ambiental de dichas dinámicas (Quiroga, 2009).

Los indicadores compuestos son una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional), con base a un modelo conceptual subyacente, que puede ser de carácter cuantitativo o cualitativo según los requerimientos del analista. En términos técnicos, un indicador se define

como una función de una o más variables, que conjuntamente miden una característica o atributo de los individuos en estudio. Por lo que índice es un indicador compuesto, el que se construye como función de dos o más indicadores y estos a su vez en dos o más variables, en cuyo caso se miden características multidimensionales como por ejemplo, el índice de desarrollo humano, el índice de salud humana, etc. (Schuschny y Soto, 2009).

La OECD (2008), define al índice como una cantidad que muestra por sus variaciones los cambios de una magnitud en el tiempo o el espacio. Las características importantes en la construcción de un número de índice son su cobertura, período de base, sistema de ponderación y el método de un promedio de observaciones. Un indicador de desarrollo sostenible es una medida estadística que da una indicación sobre la sostenibilidad del desarrollo social, ambiental y económico, son los indicadores que miden los progresos realizados en el crecimiento y el desarrollo sostenible.

De acuerdo con Stepping (2013) un indicador compuesto o índice, es el conjunto de todas las dimensiones, objetivos, indicadores individuales y las variables utilizadas en su construcción. Una variable es una medida construida resultante de un proceso que representa, en un punto dado en el espacio y el tiempo, la percepción compartida de un estado en el mundo real. Un índice de sostenibilidad ambiental es un indicador compuesto, el cual consta de varias dimensiones, la dimensión representa el nivel jerárquico más alto del análisis, por ejemplo el indicador de desarrollo sostenible comprende la dimensión económica, social y ambiental. Un indicador puede ser una sola variable o un agregado de variables, por tanto, un indicador compuesto está constituido por varios indicadores.

2.2. EL ESTADO DEL ARTE DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

2.2.1. Desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental en el mundo

La mayoría de los países que generan Indicadores de Desarrollo Sostenible -IDS- de la Comisión de Desarrollo Sostenible, utilizan en forma casi automática el marco ordenador Presión-Estado-Respuesta (PER) o Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (FER), originalmente recomendado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 1993), y el Programa de Trabajo de Indicadores de Desarrollo Sostenible. La selección del marco ordenador es relevante, toda vez que un conjunto de indicadores dispersos, no hacen parte de un verdadero sistema de información eficaz, y no podría cumplir con su misión en forma efectiva, frente a los actores clave (decisiones, ciudadanos, empresarios, entre otros).

De acuerdo con Quiroga (2001) desde finales de la década de los años 90, algunos países desarrollan indicadores ambientales, mientras que otros, lo hacen desde el enfoque de desarrollo sostenible, esto es a través de incorporar (pero no necesariamente vinculan) las dimensiones económica, social, ambiental e institucional del desarrollo. Un grupo de países han trabajado en forma autónoma y proactiva en el desarrollo de los Indicadores, y han alcanzado notoriedad por la calidad de sus propuestas, tal es el caso de Canadá y Nueva Zelandia. Sin embargo, estos indicadores corresponden sólo a la dimensión ambiental del desarrollo sostenible.

2.2.2. Iniciativas de países latinoamericanos

Segnestam (2000) afirma que la experiencia del CIAT en Colombia es relevante, en el sentido de ser un esfuerzo cooperativo que abarca la región en su complejidad, este hace un uso adecuado de los Sistemas de Información Georreferenciados (SIG), y de la cartografía para la presentación de indicadores. El Ministerio de Medio Ambiente de Colombia desarrolló indicadores de sostenibilidad, en cooperación intersectorial de la CEPAL y el PNUD. Costa Rica muestra alto desarrollo en indicadores de desarrollo sostenible, y ha participado como uno de los países de prueba de la iniciativa de la Comisión de Desarrollo Sostenible, además de integrarse a un proyecto de cooperación (Conect 4) junto a Holanda, Benín y Buthan. Otros países de la región que participan en la prueba piloto de la Comisión de Desarrollo Sostenible, aparentemente han logrado menor apoyo de sus gobiernos, y debido a problemas internos socioeconómicos, políticos y de desastres naturales, no han publicado desarrollos posteriores, tal es el caso de Bolivia y Venezuela.

El trabajo en Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS) en América Latina, dista bastante de poder ser considerado consistente con la conceptualización del Desarrollo Sostenible, que por definición involucra una visión sistémica que se debería aplicar a procesos dinámicos muy complejos. Se ha avanzado en trabajar indicadores de primera generación (netamente ambientales o sectoriales), y en el caso de México y Chile en indicadores de segunda generación o de Desarrollo Sostenible (Quiroga, 2001).

Stepping (2013), realiza un análisis de los aspectos metodológicos, conceptuales y el alcance de la aplicación de seis indicadores compuestos globales utilizados en los países en desarrollo: el índice de vulnerabilidad ambiental, el índice de desempeño ambiental, su predecesor, el Índice de Sostenibilidad Ambiental, el índice de bienestar del ecosistema. Además, analiza la dimensión Bienestar

Ambiental del Índice de la Sociedad Sostenible y el Índice Planeta Vivo. Este análisis evidencia que los índices globales desarrollados, presentan debilidades al aplicarlos en los países en desarrollo. Entre ellos se destaca que la escala es a nivel de país, que la medición de las condiciones ambientales se dificulta por la disponibilidad de datos y que por la definición de los indicadores, no cubren las variaciones a nivel local. Que por el momento, los datos disponibles a nivel de los países latinoamericanos es muy limitado, lo que impide la medición a nivel sub-nacional. En resumen, indica que no existe un indicador compuesto ambiental "perfecto para los países en desarrollo" que permita medir a nivel de país, mucho menos a escala sub-nacional, las condiciones de sostenibilidad ambiental. Enfatiza que la Información sobre el estado actual del entorno es crucial, ya que los problemas ambientales afectan en gran medida las oportunidades de desarrollo humano.

En la XVII Reunión del Foro de Ministros del Medio Ambiente de América Latina y el Caribe celebrado en Ciudad de Panamá en 2010, la Decisión 4 enfatiza la necesidad de incrementar la disponibilidad y el acceso a datos e información ambiental y apoya el fortalecimiento del Grupo de trabajo de Indicadores Ambientales (GTIA) de la ILAC. El conjunto de indicadores de la ILAC se ha conformado alrededor de seis áreas prioritarias para el desarrollo sostenible de la región: 1) Diversidad Biológica, 2) Gestión de Recursos Hídricos, 3) Vulnerabilidad, Asentamientos Humanos y Ciudades Sostenibles, 4) Temas Sociales incluyendo Salud, Inequidad y Pobreza, 5) Aspectos Económicos incluidos el Comercio y los Patrones de Producción y 6) Aspectos Institucionales (PNUMA, 2011).

2.2.3. El estado del arte en Guatemala

En 1992, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, publicó el informe denominado “Situación ambiental de la República de Guatemala” (CONAMA, 1991), el cual se preparó con los lineamientos proporcionados por la Oficina de Naciones Unidas, con el propósito de presentarlo en la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), celebrada en Río de Janeiro, Brasil en 1992. En el año 2002, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con el apoyo técnico y financiero de la Fundación Solar, Hivos, PNUD y la Asociación Danesa para la Cooperación Internacional, realizaron una consulta nacional con diferentes actores sociales para establecer el grado de cumplimiento de los Acuerdos de Río. Los resultados se publicaron en el documento “Informe Nacional de Guatemala; Río + 10”, que fue presentado oficialmente en Johannesburgo, ese mismo año. En el año 2009 se presenta el Informe Ambiental del Estado de Guatemala, el cual tiene como propósito la provisión de nuevos elementos para interpretar, con conocimiento de causa, la realidad ambiental del país y las posibilidades de revertir las tendencias de agotamiento, deterioro y contaminación que, lamentablemente, son parte de esa realidad que el informe documenta con bastante precisión (MARN-URL/IARNA-PNUMA, 2009). Después de este informe ya no se ha presentado otro.

Por otro lado, La Universidad Rafael Landívar de Guatemala, a través de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y del Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), ha publicado el Perfil Ambiental de Guatemala. Este se ha editado en cuatro ocasiones: 1984, 2004, 2006 y, el más reciente, 2008-2009. La publicación del año 2004, Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática (Universidad Rafael Landívar, IARNA, 2004), analizó un conjunto de indicadores socio ambiental en los siguientes temas: tierra, bosque, diversidad biológica, agua, ecosistemas marino-

costeros, clima, desechos sólidos, recursos naturales no renovables, población, agricultura, economía y vulnerabilidad.

El informe del 2006 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2006) se desarrolló bajo los mismos acuerdos institucionales. Se continuó con el mismo marco analítico y enfoque metodológico, lo cual, sobre la línea base generada en el informe del 2004, permitió analizar algunas tendencias. El aporte más significativo de este Perfil Ambiental fue la mejora en la estimación de indicadores, debido a un proceso ordenado de optimización de las bases de datos referentes a los temas socio-ambientales analizados en el proceso. El informe 2008 – 2009 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009), presenta un cambio sustancial en el marco analítico y metodológico, al adoptar el enfoque de sistemas, que ampara el análisis de un conjunto de indicadores-señal en los subsistemas natural, económico, social e institucional, así como sus respectivas interacciones; y un conjunto de indicadores de intensidad y eficiencia en el uso de bienes y servicios ambientales.

Los hallazgos del Perfil Ambiental de Guatemala revelan que la situación del medio ambiente de Guatemala continúa deteriorándose rápidamente, incrementándose la velocidad de dicho deterioro en las últimas décadas. Entre otras cosas existe una fuerte y creciente demanda, presión e impactos sobre el espacio ambiental y de los recursos naturales determinados por el alto crecimiento y desordenada distribución territorial, demográfica y productiva, donde persisten altos niveles de extrema pobreza, y una creciente debilidad rectora del Estado de Derecho y de la Institucionalidad del medio ambiente que se traduce en escasa articulación (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009, p. 320)

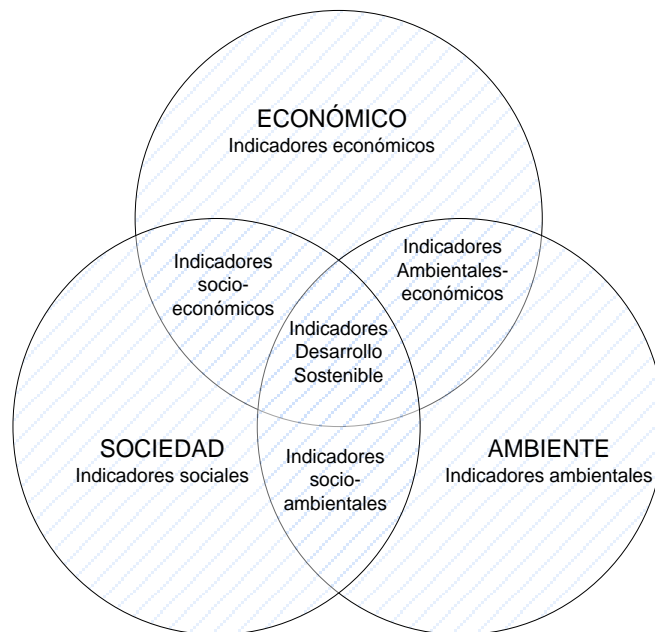
2.3. MARCO CONCEPTUAL Y FUNDAMENTOS PARA CONSTRUIR INDICADORES

Para mejorar los procesos de decisión, formulación e implementación de políticas públicas, responder en forma decidida y eficaz a la creciente demanda ciudadana, y a los diferentes grupos de usuarios de la información; es importante contar con mejor información oficial referente al medio ambiente y a la sostenibilidad del desarrollo. Los pocos recursos con que se cuenta en la región para realizar funciones críticas de regulación, reglamentación y gestión ambiental, tanto en el sector público como en el privado, se pueden focalizar de mejor forma, si se cuenta con información ordenada, jerarquizada y disponible de estadística ambiental (Gaviño y Sarandón, 2001).

El proceso de definir un marco conceptual necesita equilibrio entre la validez científica, la aceptabilidad política y la factibilidad técnica. Por lo tanto, la flexibilidad es probablemente la característica más importante con la que debe contar dicho marco. La toma de decisiones, tales como la del desarrollo sostenible, implica un proceso dinámico que se lleva a cabo a diferentes niveles de la sociedad, la que considera diversos aspectos culturales, sociales, económicos, institucionales, políticos y ambientales. Los indicadores ambientales y de desarrollo sostenible idealmente constituyen un sistema de señales claras y oportunas sobre un determinado proceso ambiental. Construidos específicamente para los usuarios, constituyen un sistema de información selecta que permite a los diferentes usuarios, evaluar su progreso en cuanto a determinadas metas cuando éstas existen, o al menos con respecto a los niveles observados en un año base (Gallopín, 1997).

2.3.1. El desarrollo sostenible

Con *Brundtland* (Naciones Unidas, 1987) se masifica el concepto de Desarrollo Sostenible (véase **Figura 1**), el cual concibe el desarrollo como la integración de los ámbitos económicos, sociales y ambientales, se señala que dichos procesos de desarrollo deben equilibrar los avances en estos tres aspectos, en forma simultánea y equilibrada. Desde la Agenda 21 se explicita la necesidad de contar con indicadores de desarrollo sostenible para monitorear el progreso de los países, a pesar de que la totalidad de la región no contaba aún con sistemas estadísticos ambientales básicos, como insumo central para la producción de indicadores, tanto ambientales como de desarrollo sostenible.



Fuente: Concepto de desarrollo sostenible Brundtland (Naciones Unidas, 1987, p. 23)

Figura 1. Componentes del desarrollo sostenible; interrelación ámbitos social, económico y ambiental.

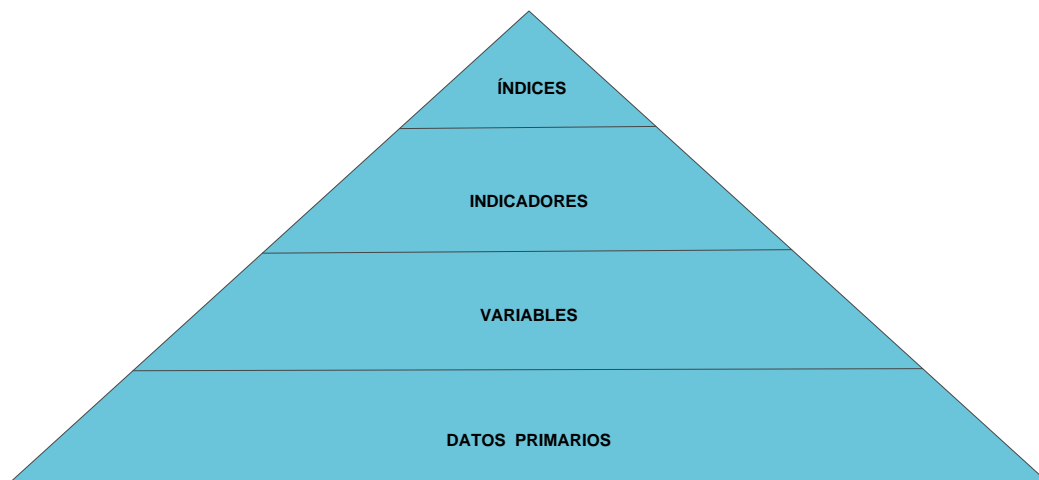
En síntesis, para que el desarrollo sea sostenible debe ser concebido como un proceso multidimensional e inter-temporal, en el cual la trilogía equidad, sostenibilidad y competitividad se sustente en principios éticos, culturales, sociales, económicos, ecológicos e institucionales. Es indudable que estos planteamientos se constituyen en los principales desafíos por resolver, con respecto a la posibilidad efectiva de la asignación presente de la producción, el consumo y, por ende, el grado de utilización de la base de recursos naturales, entre diversos espacios territoriales y entre diferentes grupos sociales. Este reto se torna aún más complejo al incorporar explícitamente el tema de la inter-temporalidad; es decir, las relaciones señaladas deben ser evaluadas, e incorporan la temporalidad de los fenómenos: presente versus futuro (Naciones Unidas, 1987).

En forma creciente, los sistemas de información ambiental (bases de datos, estadísticas, indicadores, mapas, imágenes, etc.), según el avance de cada país en la materia, elaboran y difunden esta clase de información. A su vez, las instituciones se percatan de la importancia y de la necesidad de la cooperación interinstitucional para la elaboración de los mismos. No obstante, en el área ambiental, la escasez de estadísticas ambientales básicas es notoria, si se compara con la información económica y social que se han oficializado y producido en forma rutinaria desde hace décadas. Los avances en materia de estadísticas e Indicadores Ambientales dependerán, sobre todo, de la voluntad política para asignar recursos suficientes, más que de los progresos conceptuales y metodológicos que permitan abordar los fenómenos complejos implicados (Hammond, et al., 1995).

2.3.2. Indicadores ambientales para la gestión ambiental

De acuerdo con Gallopin (1997) los indicadores ambientales (IA) son atributos cuantificables del ambiente cuyo uso es socialmente aceptado y se emplean en la gestión ambiental. Pueden ser variables altamente agregadas que sintetizan grandes volúmenes de datos e información estadística, en un conjunto simple de números útiles para monitorear el estado y tendencia del sistema ambiental, y por tanto resultan de utilidad como insumo en un determinado proceso de toma de decisiones. Los indicadores pueden ser definidos como variables individuales o como variables que son función de otras variables. La función puede ser tan simple como una relación (en él se incorpora el concepto de número índice que mide el cambio en los valores de una variable con relación a un valor de referencia); como un índice (un número individual que es función de dos o más variables ponderadas); o tan compleja como los resultados de un modelo de simulación. La diferencia entre índices e indicadores surge del grado de complejidad de la función de la cual son obtenidos.

Para comprender la jerarquía de los indicadores en relación con otro tipo de datos es posible imaginar una pirámide de información, conformada en su base con los datos primarios que son sucesivamente elaborados e integrados para elaborar indicadores e índices (ver **Figura 2**). Estos últimos constituyen un tipo de información extremadamente sintética derivada de datos y variables primarias. En consecuencia los indicadores representan un modelo empírico de la realidad y por ello deben ser formulados analíticamente con metodologías claramente definidas (Hammond, Adriaanse, Rodenburg, y Woodward, 1995).



Fuente: tomado de Hammond, Adriaanse, Rodenburg, y Woodward (1995)

Figura 2. Pirámide de la información

2.3.4. Requerimientos técnicos de un índice. Limitaciones y ventajas

Schuschny y Soto (2009) definen algunas condiciones técnicas que a priori deberían exigirse a un indicador compuesto, así como sus limitaciones y ventajas:

- Existencia y determinación: la función matemática que define al índice debe existir y tener solución perfectamente determinada.
- Exhaustividad: el índice debe ser tal que aproveche al máximo, sin redundancia y en forma útil, la información suministrada por los indicadores y variables que lo componen.
- Monotonía: el índice ha de responder positivamente al cambio positivo de los componentes y viceversa. Ello obliga, en algunos casos, a cambiar el signo de las variables que lo componen y cuyas correlaciones pudieran estar invertidas.
- Unicidad: el indicador compuesto ha de ser único para una situación dada.
- Invariancia: el índice debe ser invariante frente a cambios de origen o en la escala de sus componentes.

a. Ventajas

Al poder integrar un amplio conjunto de puntos de vista o subsistemas de una unidad de análisis considerada, los indicadores compuestos permiten reducir la complejidad de la información que deviene de las múltiples perspectivas que, de otra forma, pudieran percibirse en mutuo conflicto. Entre las principales ventajas del uso de índices se puede afirmar que, en primera instancia, integran y resumen diferentes dimensiones de un tema. Por eso permiten disponer de una “imagen de contexto” y son fáciles de interpretar por su capacidad de síntesis al reducir el tamaño de la lista de indicadores a tratar en el análisis; por otro lado, atraen el interés público por su capacidad de facilitar la comparación entre unidades de análisis y su evolución.

Stepping (2013) indica que la gran ventaja de un indicador compuesto es que se puede resumir conceptos complejos en un solo índice. Sin embargo, si está mal construido o mal interpretado, esto puede provocar conclusiones analíticas simplistas. Por lo tanto, en los indicadores compuestos o índices se condensa una cantidad considerable de información, pero plantean problemas conceptuales y metodológicos relacionados con la normalización, pesos y la forma de agregar las variables.

b. Limitaciones

El uso de indicadores compuestos de cualquier tipo, no está exento de limitaciones y desventajas generales, ya que puede proveer mensajes confusos, si los índices están mal construidos o interpretados. Por ello, es importante que durante el proceso de construcción se realicen análisis de sensibilidad y robustez. También, reducir la complejidad de un tema en un valor que, supuestamente lo mide todo, puede dar lugar a sesgos de percepción y/o confirmación o a la simplificación excesiva. Por eso, la alternativa más viable al momento de diseñar índices, puede

ser considerar el cálculo de sub-índices que representen el comportamiento de los distintos subsistemas que componen la representación que se desea estudiar (Schuschny y Soto, 2009), (Stepping, 2013).

El diseño del índice debe realizarse a partir de un conjunto de información medible; además, la elección del índice se realiza a partir de su relevancia política. Es decir, que su diseño debe necesariamente contribuir a la toma de decisiones informadas tanto como a potenciar la resonancia comunicacional que este produce con relación al fenómeno en estudio. Si no se realiza una selección correcta de los indicadores que formarán parte del índice, o si ésta no abarca las principales dimensiones del objeto de estudio, difícilmente el índice desarrollado mostrará algo representativo relacionado con la cuestión que se desea estudiar (OECD, 2002).

2.3.5. Marcos orientadores propuestos para presentar indicadores

Gaviño y Sarandón (2001), recomiendan que el marco conceptual adoptado o adaptado, debe ser el más adecuado para las circunstancias y contexto del país o territorio en cuestión. Puede utilizarse un marco que incorpore principalmente las dinámicas ambientales, el marco del capital natural, o del desarrollo sostenible de Brundtland. Además es importante plantearse qué marco conceptual proveerá mayor espacio para el desarrollo de indicadores, puesto que cuanto más complejo y abarcador éste sea, implicará mayor complejidad en la construcción de indicadores. También no se debe perder de vista que se trata de elegir un marco referencial o conceptual no demasiado amplio, pues a menudo la disponibilidad de series estadísticas ambientales resulta muy reducida para alimentar dicha riqueza analítica.

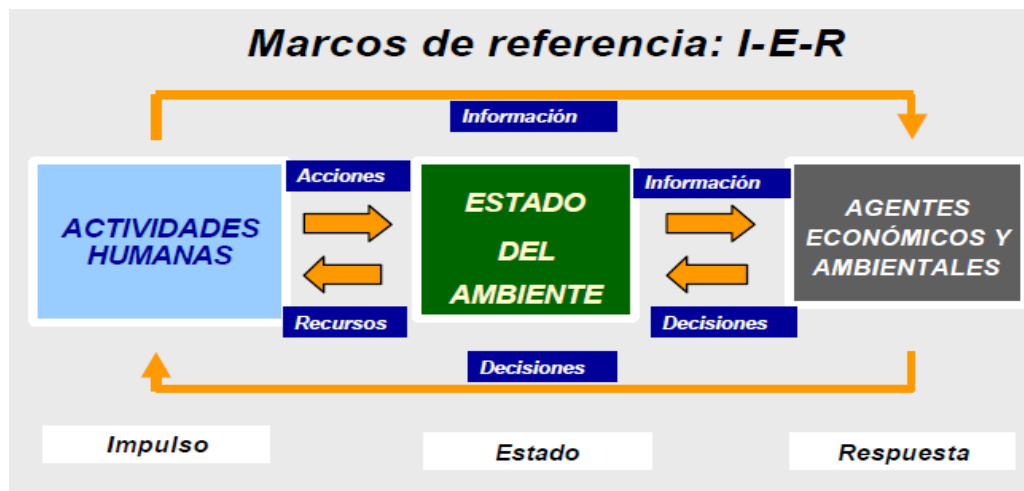
Un modelo ampliamente utilizado es el de Presión-Estado-Respuesta (P-E-R) desarrollado por la OECD (OECD, 1993) a partir del modelo original de Presión-

Respuesta. Este marco conceptual es probablemente el más aceptado mundialmente debido a su simpleza, facilidad de uso y la posibilidad de aplicación a diferentes niveles, escalas y actividades humanas. Las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 1987) han reemplazado el término “presión” por “impulso”, de manera de extender la dimensión ecológica a los indicadores sociales, económicos e institucionales (Ver **Figura 3**).

Desde el punto de vista ecológico, el concepto de “presión” se refiere a las actividades humanas que ejercen una carga sobre los recursos naturales, los que cambian su calidad y cantidad (Gaviño y Sarandón, 2001).

Este modelo es utilizado como formato para estructurar los indicadores y conducir a la elaboración de una progresión causal de las acciones humanas que ocasionan una presión sobre el ambiente que llevan a un cambio en su estado, al cual la sociedad responde con medidas o acciones para reducir o prevenir el impacto. No obstante, dadas las características y naturaleza de los proyectos, el modelo debe ser adaptado. Así mismo, para que el modelo pueda ser utilizado en el seguimiento y análisis de las relaciones sociedad-ambiente, se hace necesario una aproximación ecológica-geográfica a diferentes escalas (Gallopín, 1997).

Stepping (2013), indica que el modelo desarrollado por la OCDE y la Agencia Europea de Medio Ambiente a mediados de la década de 1990, Presión-Estado-Respuesta (PER), se basa en las relaciones de causa-efecto entre las actividades humanas, los cambios en las condiciones ambientales y respuestas de la sociedad. Los seres humanos ejercen presión, directa o indirectamente, en el medio ambiente a través de sus acciones. Estas actividades afectan a la calidad del medio ambiente y la calidad y cantidad de los recursos naturales: el estado del medio ambiente. La respuesta de la sociedad a estos cambios, acción o reacción individual o colectiva, es visible en las políticas y en el cambio de conciencia.



Fuente: Gaviño y Sarandón (2001, p. 5)

Figura 3. Modelo de referencia Impulso – Estado – Respuesta.

La producción de información para la toma de decisiones implica el conocimiento de qué y de cómo se debe medir y monitorear. Para esto es necesario un marco de referencia que permita organizar la información en función de las prioridades y necesidades de los usuarios. Existen varios marcos conceptuales disponibles que pueden utilizarse para guiar la elección, el desarrollo y uso de indicadores. Los modelos existentes para obtener, analizar y elaborar información ambiental son generalmente de dos tipos (Gaviño y Sarandón, 2001, p. 3-6):

- Modelos para el proceso de la toma de decisiones y aplicación de estrategias y acciones que definen la relación entre la información ambiental, los valores sociales y metas políticas. Estos modelos han sido utilizados en particular por la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA) y el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME) para delinear una estrategia para el desarrollo de metas, objetivos e indicadores para el manejo de los ecosistemas.
- Modelos para el monitoreo de los procesos ambientales y las interacciones sociedad-ambiente que tratan de clasificar los problemas ambientales en términos de cadenas causa-efecto o en una base espacial para saber dónde ocurren estos procesos e interacciones.

2.3.6. Enfoques metodológicos

La segunda distinción básica para comprender el desarrollo de indicadores, consiste en el enfoque metodológico en que se desenvuelven las iniciativas; de acuerdo con Quiroga (2009) existen dos aproximaciones o “escuelas” el enfoque “de sistemas” y el enfoque, “conmensuralista”.

El enfoque de “sistemas” consiste en elaborar un grupo de indicadores (ya sean ambientales o de desarrollo sostenible), que en conjunto den cuenta de los principales procesos que se desea comprender para tomar mejores decisiones. Se trabaja en la construcción de un conjunto de indicadores que muestren tendencias vinculantes y/o sinérgicas, o sea que en su conjunto puedan dar cuenta de las principales tendencias, tensiones y causas subyacentes a los problemas de sostenibilidad. Así mismo, se reconocen los problemas metodológicos y axiológicos de la inconmensurabilidad y se renuncia al intento de agregar para construir mega indicadores. La desventaja relativa de este enfoque metodológico es una potencial comunicación limitada, toda vez que la información se encuentra “contenida” en un conjunto de indicadores y que para su correcta interpretación, se deba generar un esquema reporte que compense esta situación.

El otro enfoque, el “conmensuralista”, consiste en agregar una serie de variables que coexisten dentro de un solo indicador. Este enfoque presupone que distintas dinámicas y procesos pueden ser medidos con una misma unidad de medida (conmensurados), sea ésta el dinero, las hectáreas o coeficientes indizados contruidos especialmente para tal propósito. El problema principal de este enfoque es que sus resultados son discutibles en términos metodológicos, lo cual debilita más o menos su potencial como indicadores. La principal ventaja es que son comunicacionalmente muy adecuados, pues en una sola cifra se puede dar a

conocer una gran cantidad de procesos, lo que es valorado por el público y por los que sin ser expertos tienen que tomar decisiones.

De ahí que esta escuela pueda ser denominada como conmensuralista y sus resultados más conocidos son (Schuschny y Soto, 2009):

- Índices (Índice de Sostenibilidad Ambiental, Índice de Desarrollo Humano, Índice del Planeta Vivo, Índice de Bienestar Económico Sostenible).
- Monetizados (PIB verde, Riqueza Total, Ahorro Genuino).
- De tipo “canasta” (Huella Ecológica, el Espacio Ambiental y Material Input per Unit Service o MIP).

2.3.7. Fuentes de estadística ambiental

En el trabajo estadístico tanto demográfico, como económico y social, las fuentes habituales de información de donde provienen tanto series estadísticas como indicadores puntuales son los censos y las encuestas, con sus correspondientes procesos de levantamiento, sus instrumentos ya desarrollados y aunque siempre perfectibles, que con el tiempo han sido claramente validados. A una considerable distancia, se sitúan algunos registros administrativos que permiten producir información estadística en ámbitos donde aún no se cuenta con encuestas adecuadas. Sin embargo, en el área de trabajo estadístico ambiental, el tema de los tipos de fuentes es una historia más reciente que muestra complejidades únicas y que difiere sustancialmente de otros ámbitos estadísticos, en cuanto a la existencia de distintos tipos, así como a su conveniencia, robustez y oportunidad. En primer lugar, se debe establecer el hecho de que existen varios tipos de fuentes de datos ambientales, todos de carácter emergente, y que revisten características propias de cada tipo, cuentan cada una con fortalezas y debilidades que deben ser consideradas a la hora de elegir, cuando sea posible, entre dos o más tipos, para calcular un indicador específico (Segnestam, 2000).

2.4. DISEÑO DE ÍNDICES DE DESARROLLO SOSTENIBLE

De acuerdo con Quiroga (2009) usualmente el intento por desarrollar indicadores termina con extensas listas en las que algunos temas se tratan exhaustivamente mientras que otros son pasados por alto, ya que la selección se basa en una percepción subjetiva de la importancia de los mismos. Tener demasiados indicadores con una cantidad abrumadora de detalles puede generar confusión en las prioridades, tanto para quienes los elaboran como para los usuarios. Una forma de evitar este problema es emplear un marco como el Presión-Estado-Impulso-Respuesta (P-E-I-R), combinado con algunos criterios estrictos de selección:

- Evaluación de datos. Los criterios de selección correspondientes son: alta calidad y confiabilidad de los datos, disponibilidad de los datos, escala espacial y temporal apropiada y costos de recopilación de los datos.
- Características de los indicadores. Los criterios de selección correspondientes son: mensurabilidad, pertinencia, representatividad, sensibilidad al cambio, especificidad, conexiones causales claras y costo de elaboración de los indicadores.
- Utilidad para el usuario. Los criterios de selección correspondientes son: validez, cantidad (número) limitada, claridad en el diseño, aplicabilidad, no-redundancia, retrospectividad - predicción.

2.4.1. Tipos de indicadores compuestos de desarrollo sostenible

La combinación de información de múltiples variables o fuentes de indicadores supone un universo de posibilidades que, a grandes rasgos, puede ser categorizado en cuatro grandes grupos (Schuschny y Soto, 2009):

a. Indicadores basados exclusivamente en las ciencias naturales:

Estos indicadores compuestos se basan en la agregación directa de información, provista por mediciones físicas sobre los distintos medios o sustratos naturales, con el fin de determinar un indicador que defina una característica o atributo común, por ejemplo el indicador de calidad de agua, toxicidad, nivel de eutrofización, entre otros. Dentro de esta clasificación se encuentra el Índice de Planeta Vivo (Loh, et al., 2005), que consiste en una medida del bienestar natural de los bosques, los ecosistemas hídricos, los océanos y las costas del planeta.

b. Indicadores de desempeño de políticas:

Estos indicadores compuestos están vinculados a la concreción de estándares regulatorios, como por ejemplo los basados en el establecimiento de límites a las emisiones o descargas de compuestos o a la determinación de objetivos de políticas integrales que requieren la combinación de diversos indicadores.

c. Indicadores basados en criterios contables:

A este grupo corresponde el Índice de ahorro genuino, desarrollado por el Banco Mundial, los indicadores de “PIB Verdes”, el Índice de bienestar económico sustentable o el Índice de progreso genuino. En estos casos, el proceso de agregación se realiza sobre la base de imputaciones monetarias a variables que no son usualmente cuantificadas en términos monetarios. Dentro de esta clasificación están las huellas, como la huella ecológica, que traduce los valores de sus variables constitutivas en algún tipo de unidad física hectáreas o toneladas métricas).

d. Indicadores sinópticos:

Schuschny y Soto (2009, p 18) indican que estos indicadores intentan proveer una mirada contextual a una cuestión inherentemente compleja: “*se construyen a partir de la agregación ponderada bajo cierto criterio, de la información que se considera relevante sobre el tema a describir*”. Los indicadores compuestos del tipo sinóptico buscan resumir la información de un conjunto de características o variables de interés en un índice, que, si bien es interpretable de modo comparativo entre períodos o entre casos de estudio, no tienen una interpretación en términos de una unidad de medida, como lo tienen los índices basados en criterios contables, cuyo valor se puede asociar directamente a una medida ya sea de tipo monetario o de cualquier otro.

La utilidad que tenga un índice, se basa en la cualidad de ser comparable, ya sea con respecto al tiempo, de medir su evolución, o con respecto a valores de referencia. El rigor metodológico con que se construyan tiene una gran importancia en términos de su credibilidad y confiabilidad. Ejemplos de este tipo de indicadores son: el Índice de Desarrollo humano, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; el Índice de Sostenibilidad Ambiental o el Índice de Desempeño Ambiental, desarrollado por la Universidad de Yale (Yale University, 2010).

Los requisitos clave para la selección de indicadores de desarrollo sostenible incluyen: a) la conexión rigurosa a la definiciones de sostenibilidad, b) la selección de indicadores significativos que no deben ser altamente correlacionados, c) fiabilidad y disponibilidad (posibilidad de medir) para la cuantificación de los datos durante amplios períodos de tiempo (Jochem y Böhringer, 2007).

2.4.2. Metodología para la construcción de indicadores compuestos

Schuschny y Soto (2009) proponen que para la construcción de un indicador compuesto, el uso de técnicas de análisis multivariado es muy útil para obtener una idea aproximada acerca de la estructura de los datos que lo compondrán. Sin embargo, sugiere que cuando la muestra de información que contienen las variables (número de datos) es pequeña en comparación con el número de variables seleccionadas, se debería evitar emplear estas técnicas de análisis multivariado, ya que los resultados no serán, por cierto, representativos. En este último caso, se recomienda recurrir a análisis exploratorios simples, incluir tablas de frecuencias y de promedios simples, o en todo caso, emplear métodos participativos.

Jochem y Böhringer (2007) recalcan que los índices de sostenibilidad deben ser concisos y claros y que deben cumplir con requisitos científicos fundamentales, que tienen que ver con los tres pasos centrales de la formación de los índices: la normalización, la ponderación y agregación. La normalización y ponderación de indicadores, que en general están asociados con los juicios subjetivos. En cuanto a la agregación, hay reglas científicas que pudieran garantizar la coherencia y la significatividad de los índices compuestos. Sin embargo, estas normas a menudo no se tienen en cuenta.

Las técnicas de análisis multivariado incluyen:

- **Normalización de los datos, ponderación de la información y agregación de la información.**

Las variables seleccionadas para la construcción del índice, generalmente están medidas en distintas escalas, por lo cual se hace necesario normalizarlos para que puedan ser agregados de manera comparable. Una vez hecho esto, es necesario

definir el factor de peso que cada indicador o variable tendrá en la agregación, para finalmente generar el agregado y construir los valores del índice.

- **Análisis de robustez y sensibilidad:**

El análisis de sensibilidad consiste en evaluar si pequeñas variaciones en los datos contenidos en las variables e indicadores que se incluyen en la agregación, conducen efectivamente pequeñas variaciones en el valor del indicador compuesto, lo cual no está garantizado, pero es requerido como un elemento de robustez (Schuschny y Soto, 2009), (Jochem y Böhringer, 2007).

2.4.3. Métodos participativos para la construcción de indicadores

Paralelamente a las técnicas de ponderación basadas en criterios estadísticos o matemáticos, existe la posibilidad de establecer el peso relativo de cada variable en el indicador sintético a partir de metodologías de índole participativa en las que se consulta la opinión de expertos que contribuyen con su conocimiento y priorizan algunas variables por sobre otras. Estas metodologías eluden la manipulación que suelen imputárseles a las técnicas sofisticadas, a la vez que le otorgan legitimidad (Schuschny y Soto, 2009).

En la medida en que el conjunto de expertos seleccionado refleje la diversidad de ramas del conocimiento, las posibles áreas de experiencia y los distintos intereses en juego, el indicador compuesto contará con mayor consenso al momento de su comunicación, y por lo tanto, se transformará en una herramienta válida y eficaz para influenciar la aplicación de políticas en pro del mejoramiento del contexto al que se refiere el indicador.

El método Delphi

El método Delphi es una metodología de investigación multidisciplinaria para la realización de pronósticos y predicciones. Fue desarrollada por la Corporación Rand al inicio de la Guerra Fría para investigar el impacto de la tecnología en la guerra. El nombre del método se basa en las predicciones del oráculo de Delfos (Astigarraga, 2000).

Está concebida para obtener y procesar eficientemente la información que los expertos poseen sobre las materias que conocen y a partir de ahí, lograr un resultado de grupo (generalmente una previsión) útil para ser empleada como información en la forma de decisión de incertidumbre. Desarrollado con la pretensión de extraer y maximizar las ventajas que presentan los métodos basados en grupos de expertos, los que minimizan sus inconvenientes, el método Delphi busca aprovechar la sinergia del debate de ideas en el grupo, ya que eliminan las interacciones no deseadas, en procura de *“obtener un consenso lo más fiable posible del grupo de expertos”* (Bravo y Arrieta, 2005, p. 11).

Ortega (2008) describe la técnica Delphi como un método de investigación sociológica, que independientemente de que pertenece al tipo de entrevista de profundidad en grupo, se aparta de ellas, ya que agrega características particulares. Es una técnica grupal de análisis de opinión, parte de un supuesto fundamental y de que el criterio de un individuo particular es menos fiable que el de un grupo de personas en igualdad de condiciones.

El Método Delphi se basa en el principio de la inteligencia colectiva y que trata de lograr un consenso de opiniones expresadas individualmente por un grupo de personas seleccionadas cuidadosamente como expertos calificados en torno al tema que se quiera indagar, por medio de la iteración sucesiva de un cuestionario

retroalimentado de los resultados promedio de la ronda anterior, a través de aplicar cálculos estadísticos (Astigarraga, 2000, p. 1-14).

De acuerdo con Franco (2008) suelen distinguirse tres etapas o fases fundamentales en la aplicación del método:

- a) *Fase preliminar*. Se delimita el contexto, los objetivos, el diseño, los elementos básicos del trabajo y la selección de los expertos.
- b) *Fase exploratoria*. Elaboración y aplicación de los cuestionarios según sucesivas vueltas, de tal forma que con las respuestas más comunes de la primera se confecciona la siguiente.
- c) *Fase final*. Análisis estadísticos y presentación de la información.

a. Características del método Delphi:

Según Franco (2008) las principales características del método están dadas por el anonimato de los participantes (excepto el investigador), iteración (manejar tantas rondas de preguntas como sean necesarias), retroalimentación (*feedback*) controlada, sin presiones para la conformidad, respuesta de grupo en forma estadística (el grado de consenso se procesa por medio de técnicas estadísticas) y justificación de respuestas (discrepancias/consenso).

- El anonimato de los participantes: Ningún experto que recibe el cuestionario conoce la identidad de los restantes encuestados ni cuál ha sido la respuesta individual. Sólo el administrador o analista de la encuesta puede identificar a cada participante y sus respuestas. Esto presenta una serie de aspectos positivos como:
 - Reducir el posible predominio de algunas opiniones sobre otras, lo que impide la posibilidad de que un miembro del grupo pueda resultar

influenciado por la reputación de otro o por el peso que supone una confrontación directa o el peso de la mayoría. La congruencia de los argumentos es el único factor que predomina durante el debate.

- Retroalimentar las opiniones a través de la iteración del cuestionario facilita la interacción entre los participantes, lo que permite por sucesivas aproximaciones la posición general del grupo ante el tema que se analiza.
 - Permitir que un miembro modifique o matice sus opiniones sin que esto implique una pérdida de imagen ante el grupo o la comunidad científica o la corporación sectorial a la que pertenece. Los participantes pueden defender sus argumentos con la tranquilidad de saber que en caso de que éstos presenten un grado de desviación significativa con la opinión mayoritaria y puedan considerarse erróneos, su cambio de opinión no va a ser identificado por los otros expertos.
-
- Una retroalimentación controlada: El proceso iterativo consiste en presentar varias veces el mismo cuestionario. Se pueden manejar tantas rondas como sean necesarias. Desde la segunda vez, el cuestionario es acompañado de los resultados obtenidos con los cuestionarios anteriores, ya que es del conocimiento de los expertos los distintos puntos de vista relevados. Esta retroalimentación controlada permite que el experto modifique su opinión, si los argumentos que se le presentan les parecen más apropiados que los propios.
 - Respuesta en forma estadística: Aunque el cuestionario pueda ser de naturaleza cualitativa, la medición que se realiza del resultado es de carácter cuantitativo. La respuesta del grupo puede ser presentada estadísticamente (promedios y grado de dispersión). La información que se presenta a los expertos, comprende todas las opiniones, la que incluye el grado de acuerdo que se ha obtenido, es decir, el grado de consenso o dispersión que existe en cada respuesta así como

la respuesta mayoritaria del grupo. Sin embargo, sólo una parte seleccionada de la información circula en la búsqueda de la convergencia.

b. Criterios para la selección de expertos:

De acuerdo con García y Suárez (2013) el método Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta la opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas anónimas de preguntas, con el objetivo de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía de los participantes. Los criterios que deben considerarse para la selección de los expertos son, entre otros:

- Trayectoria académica destacada en cualquier rama de las ciencias.
- Interés demostrado por el conocimiento, la investigación y la docencia.
- Publicaciones que avalen su grado de conocimiento profundo sobre el tema.
- Experiencia en la toma de decisiones.
- Pensamiento integrador y con proyección social o comunitaria.
- Haber demostrado imaginación, creatividad y pensamiento crítico.

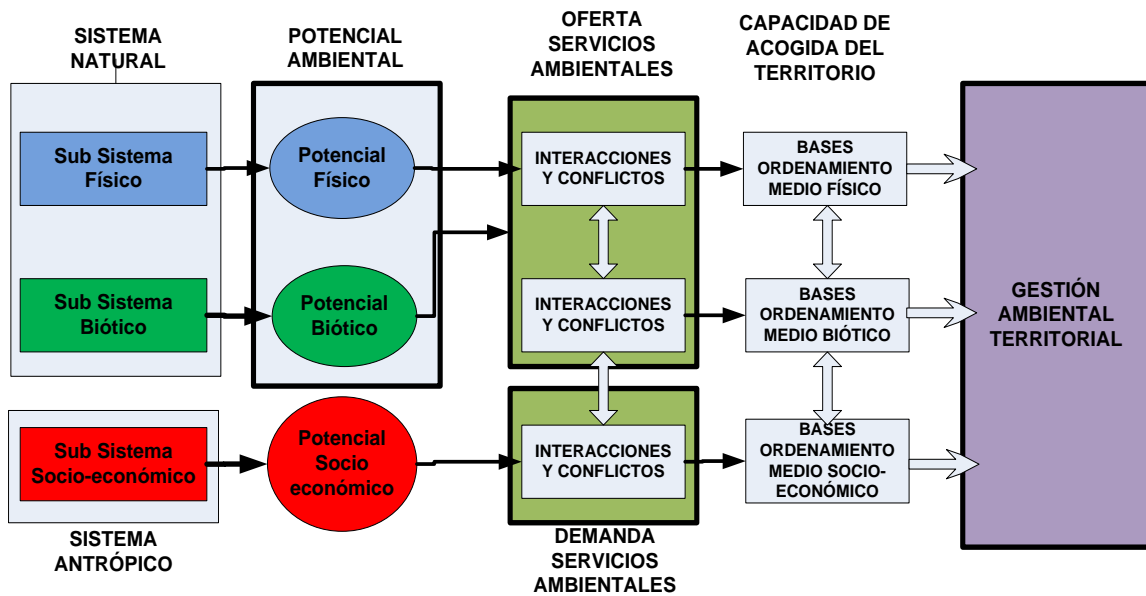
c. Análisis estadístico:

El análisis estadístico que se realiza a las rondas de preguntas, dependerá del objetivo que se persigue con la utilización de la técnica. Generalmente se utilizan dos medidas estadísticas: los promedios (media aritmética) y las que indican la dispersión respecto a dicho promedio (desviación típica o desviación estándar y la desviación media). Este análisis es necesario para verificar la confiabilidad de los promedios y servir de base para controlar la variación (Franco, 2008).

2.5. CONSIDERACIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN LA GESTIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL

Los indicadores ambientales en la gestión ambiental territorial, pueden definirse como un proceso técnico cuya finalidad es caracterizar y evaluar las potencialidades y restricciones del medio ambiente, con el propósito de conocer las mejores alternativas de uso y aprovechamiento del territorio. En términos prácticos, este proceso debe llevar a diseñar escenarios de uso del territorio, desde el punto de vista ambiental, “*deben considerarse dos sistemas: el sistema físico y el sistema biótico*” (Gómez, 2008, p. 766).

Para Molina (2008) en la gestión ambiental territorial, es básico el análisis interdisciplinario de los diferentes elementos y procesos que lo caracterizan, con el objeto de establecer una visión en conjunto de la problemática ambiental existente y ofrecer soluciones acordes con la misma. Con respecto a las metodologías planteadas como instrumentos para llevar a cabo el diagnóstico ambiental territorial, estas son muy generales y no se consideran las relaciones entre el sistema antrópico, el sistema natural y su entorno territorial. Un esquema general para ilustrar la interacción de los diferentes subsistemas, durante el proceso de gestión ambiental territorial, se presentan en la **Figura 4**.

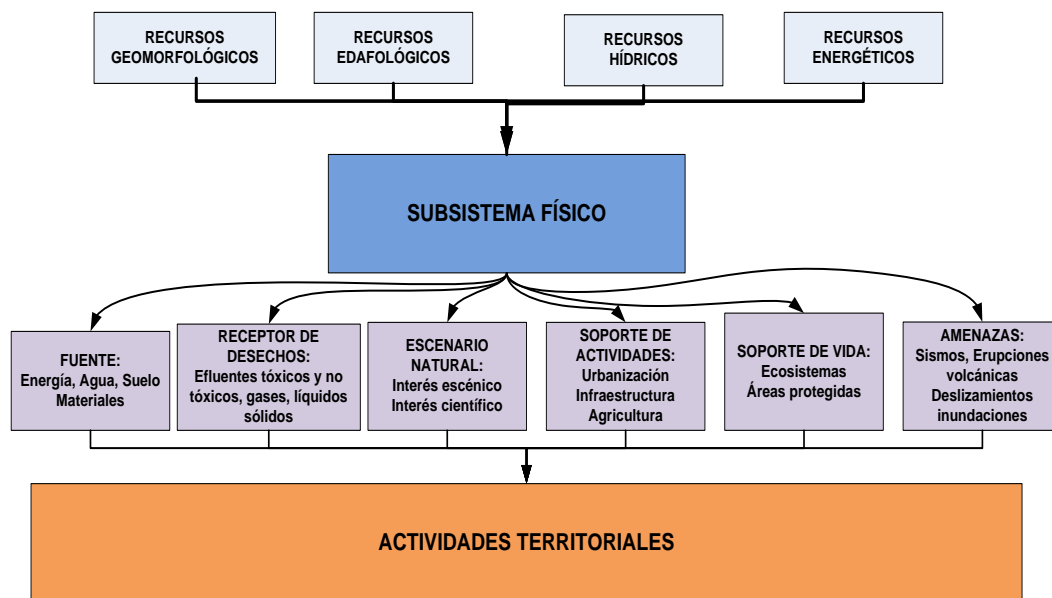


Fuente: Elaboración propia con información adaptada de (Molina, 2008)

Figura 4. Interacción de los subsistemas natural y antrópico en el proceso de gestión ambiental territorial.

2.5.1. Subsistema Físico

El subsistema físico, de acuerdo con Molina (2008), se entiende como el subsistema del medio ambiente, conformado por los materiales, procesos y formas del terreno, predominantemente abióticas. En este subsistema tienen lugar una serie de procesos endógenos y exógenos que involucran tipos de energía naturales (gravitacional, solar, etc.) y las modificaciones resultantes de la acción biológica y humana. Para efectos de la gestión ambiental territorial, el medio físico debe entenderse como fuente de recursos, soporte de actividades, receptor de residuos y generador de amenazas naturales (ver **Figura 5**).

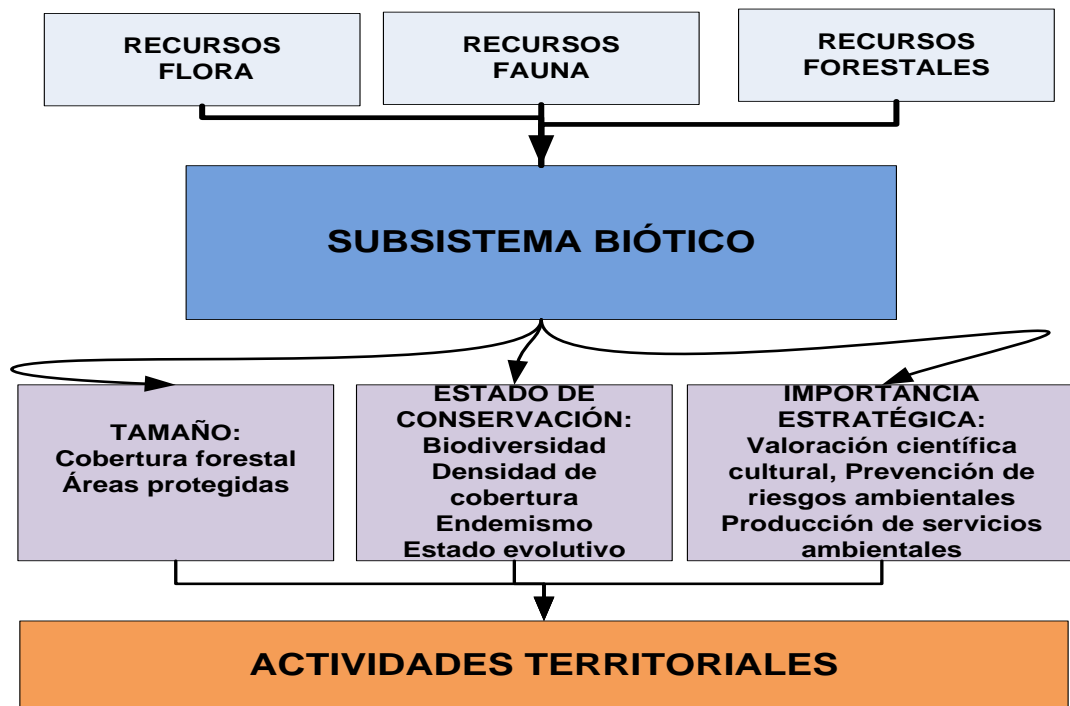


Fuente: Elaboración propia con información de (Molina, 2008)

Figura 5. Importancia del subsistema físico en la gestión ambiental del territorio

2.5.2. Subsistema Biótico

Molina (2008) insiste en que el análisis del sistema biótico, debe realizarse a través de tres factores indispensables para la supervivencia humana: los recursos florísticos, forestales y la fauna. Estos factores juegan un rol importante en el proceso de planificación ambiental territorial, toda vez que ellos cumplen una serie de funciones que favorecen o afectan el bienestar de la sociedad (ver **Figura 6**).



Fuente: Elaboración propia con información de (Molina, 2008)

Figura 6. Importancia del medio biótico en la gestión ambiental del territorio

2.6. USO DE PLATAFORMAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO HERRAMIENTA PARA ANALIZAR Y VISUALIZAR INFORMACIÓN AMBIENTAL

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés *Geographic Information System*) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestres y construidas para satisfacer unas necesidades concretas

de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones (Laurini, Servigne, y Noel, 2005).

Dos tipos de herramientas útiles para el análisis y la visualización de los resultados del monitoreo (Segnestam, 2000):

- Los modelos para la exploración de los impactos causados en la sociedad y de los cambios que ella experimenta; y
- Una interface de SIG que permita a los usuarios observar y superponer la información variada (como datos, variables, indicadores e índices) necesaria para la formulación de políticas y la planificación.

Las herramientas y los métodos de análisis, síntesis y agregación que emplean diferentes usuarios son una parte importante en los indicadores ambientales. Estos deben permitir la exploración de la dinámica y del impacto de las políticas, acciones y estrategias dirigidas a la conservación del medio ambiente, identificar y analizar las relaciones de causa-efecto. Al aplicarse a estudios medioambientales, que son temas en los cuales se involucran múltiples variables (desde aquellas estrictamente naturales, relacionadas con las características físicas del terreno, hasta aquellas sociales o económicas, relacionadas con características de la población), los Sistemas de Información Geográfica tienen una doble tarea: de un lado, permiten la generación de nueva información, y por otro lado, permiten la agregación de la información ya existente (Laurini, et al., 2005).

Los Sistemas de Información Geográfica se han aplicado a problemas de gestión ambiental territorial, recursos naturales, a cuestiones relacionadas con el medio ambiente o a contextos relacionados con las ciencias de la Tierra y muy recientemente se ha empezado a considerar el uso potencial de los SIG en las Ciencias Sociales (Del Bosque González, Fernández Freire, Martín-Forero Morente, y Pérez Asensio, 2012).

Los sistemas de información geográfica (SIG), cumplen con todos los requisitos para convertirse en elementos esenciales en actividades de planificación del territorio en el campo ambiental, social y económico. Estas herramientas de manejo de mapas temáticos, con un notable desarrollo en las últimas décadas, ha motivado entre otros aspectos, a la generación de múltiples grupos interdisciplinarios alrededor del mundo que trabajan con un objetivo en común: la conservación del medio ambiente y el ordenamiento de las actividades socio-económicas de las diferentes zonas involucradas. Los Sistemas de Información geográfica, tiene múltiples aplicaciones, mediante la integración de datos geográficos con herramientas de geoprocesamiento, modelado y visualización (Laurini, et al., 2005).

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. DEFINICIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Método de investigación

Por el uso de los avances y los resultados, la presente tesis puede definirse como una investigación aplicada. Por el nivel de profundidad del conocimiento se clasifica dentro de las investigaciones explicativas, es decir, se analizaron las causas de los fenómenos físicos y biológicos que repercuten en el estado del ambiente y que determinan el uso sostenible y el manejo de los recursos naturales en un espacio territorial determinado. Por el énfasis en la orientación teórico-metodológica, puede definirse como una investigación cuantitativa no experimental correlacional-causal.

3.1.2. Definición del marco conceptual

De acuerdo al modelo desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1993), el desarrollo de los indicadores físico biológicos y la estimación del Índice de Sostenibilidad Ambiental de la presente investigación, se realizó mediante el análisis del estado del ambiente, no así la presión y respuesta; bajo el criterio de que las actividades humanas (presión), se verán reflejadas en el ambiente actual (estado) y con la estimación del Índice de Sostenibilidad Ambiental, se generará información, que servirá de base para la toma de decisiones en los sistemas socioeconómicos y ambientales municipales (respuesta).

3.1.3. Definición del enfoque metodológico

Si se considera la categorización de los indicadores compuestos, realizado por Schuschny y Soto (2009) la presente propuesta se enmarca dentro de la clasificación de indicadores sinópticos. Estos se construyen a partir de la agregación ponderada bajo cierto criterio (para este caso se usó una metodología participativa), de las variables que los integran. Los índices del tipo sinóptico buscan resumir la información de un conjunto de indicadores de interés en un solo valor, que si bien es interpretable de modo comparativo entre períodos o entre casos de estudio; no tienen una interpretación en términos de una unidad de medida, como lo tienen los índices basados en criterios contables o de cualquier otro.

Otra consideración es la planteada por Molina (2008) quien afirma que para comprender la gestión ambiental territorial, deben establecerse las relaciones entre el sistema antrópico, el sistema natural (subsistema físico y subsistema biológico) y su entorno territorial. Para el caso de la presente investigación, se consideró el sistema natural con sus componentes físico y biológico en su entorno territorial, bajo el criterio de que los efectos antropogénicos (procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana), se verán reflejados en el estado del sistema natural.

3.2. CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN

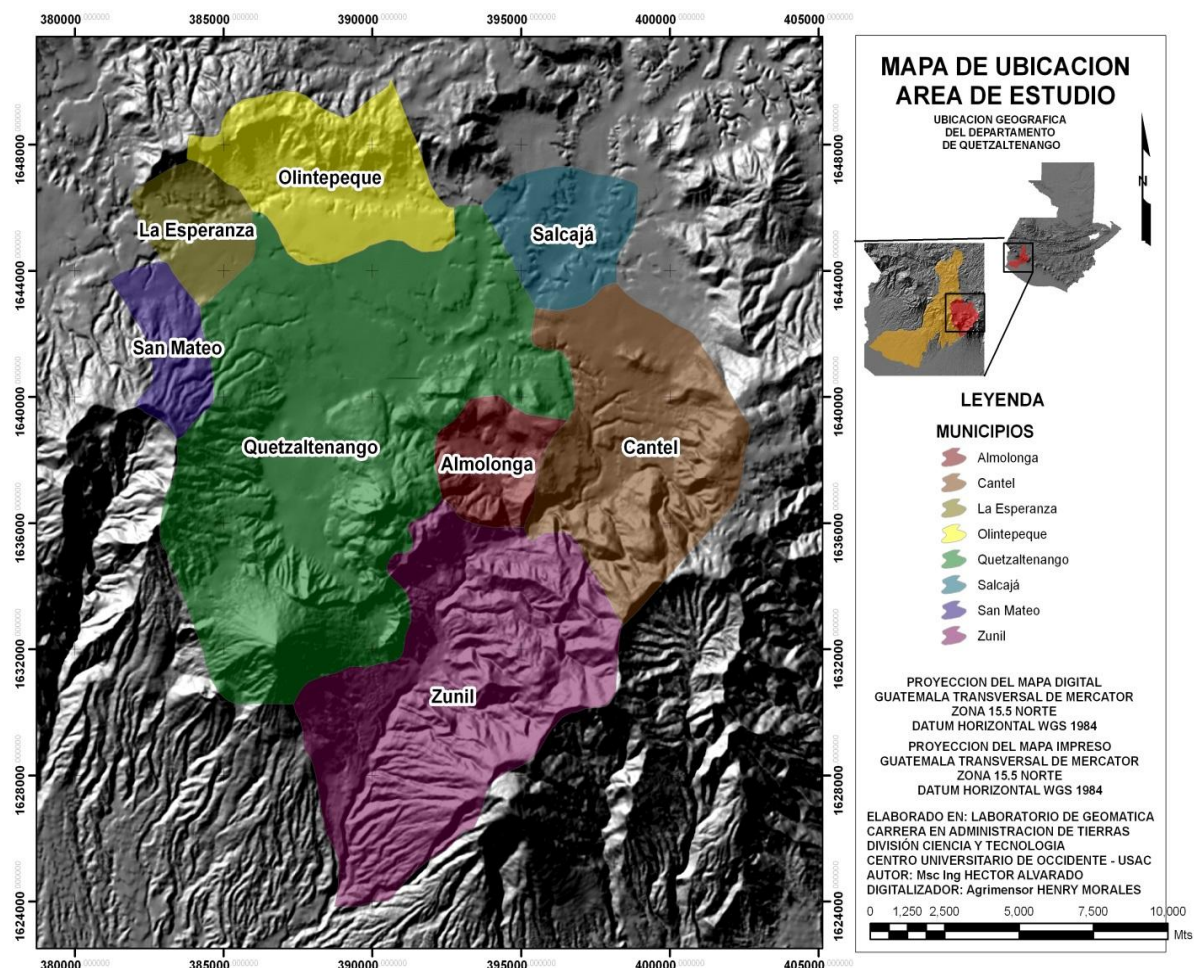
3.2.1. Contexto Espacial

Para validar y estimar el Índice de Sostenibilidad Ambiental, se seleccionó a la Mancomunidad de Municipios Metrópoli de Los Altos, como área piloto, por la diversidad de las características económicas, sociales, culturales y ecológicas que presentan los municipios que la constituyen. En cada uno de los municipios se recabó información de cada variable que constituye el sistema de indicadores físico-biológicos.

La mancomunidad se encuentra ubicada en la Cuenca Alta del Río Samalá, en el Occidente de Guatemala, se encuentra integrada por 11 municipios, nueve de los cuales pertenecen al departamento de Quetzaltenango y dos al departamento de Totonicapán. Los municipios a los que se les estimó el índice de Sostenibilidad Ambiental desarrollado en esta investigación, fueron los ocho que presentan el fenómeno de la conurbación, estos son: Quetzaltenango, Zunil, Almolonga, Cantel, Salcajá, Olinstepeque, La Esperanza y San Mateo (ver **Figura 7**).

3.2.1.1. Fisiografía

En el área de estudio se encuentran los volcanes Santa María, Santiaguito y Cerro Quemado, del municipio de Quetzaltenango; el Pico Santo Tomás y Zunil, del municipio de Zunil; el Siete Orejas, que abarca los municipios de: Quetzaltenango, La Esperanza y San Juan Ostuncalco; además de cerros, cráteres, precipicios, barrancos, valles y llanuras. Las cabeceras municipales de estos municipios, se encuentran entre los 2 251 a los 2 497 msnm (Alvarado, 2010).



Fuente: Elaboración propia con información de IGN, MAGA

Figura 7. Mapa de ubicación de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos.

3.2.1.2. Hidrología

El río Samalá es el más importante del departamento de Quetzaltenango; se origina en la aldea Paquix en Totonicapán y atraviesa los municipios de Almolonga, Salcajá, Quetzaltenango, La Esperanza y Zunil; durante su trayecto toma diversos nombres. Ha sido utilizado como fuente de proyectos hidroeléctricos tales como el de la aldea Santa María de Jesús, municipio de Zunil y las Plantas Zunil I y Zunil II, las que forman parte de la matriz energética del país (Alvarado, 2010).

3.2.1.3. Perfil socioeconómico de la mancomunidad

Los niveles del Índice de Desarrollo Humano en los municipios de La Mancomunidad son los siguientes (PNUD, 2011):

Nivel 1: Se encuentra entre 0.607 a 0.80, lo cual se puede considerar como alto Índice de Desarrollo Humano. En él se encuentran los municipios de: La Esperanza, Quetzaltenango, Salcajá y San Mateo.

Nivel 2: entre 0.5528 a 0.6069, que se puede considerar como un índice intermedio. En este nivel se encuentran los municipios de Almolonga y Olinstepeque.

Nivel 3: entre 0.4013 y 0.5525, que se considera un índice de Desarrollo Humano Bajo. Aquí se encuentran los municipios de San Juan Ostuncalco y Zunil.

El nivel de pobreza extrema en La Mancomunidad es de 16.01%, el cual es más bajo que el nivel de pobreza extrema total de la Región VI y del promedio nacional que es de 37.59% y 22.77% respectivamente. San Juan Ostuncalco es el municipio con el mayor índice de pobreza extrema con el 46.68%, mientras que el que presenta menor incidencia es Quetzaltenango con 2.69%.

Cuadro 1. Indicadores de pobreza y pobreza extrema de los municipios de la mancomunidad.

MUNICIPIO	% POBREZA	% POBREZA EXTREMA	IDH	DENSIDAD hab/km ²
Almolonga	41.6	4.3	0.671	859
La Esperanza	19.2	1.3	0.723	453
Olinstepeque	40.4	3.9	0.585	876
Quetzaltenango	25.9	3.2	0.784	1 600
Salcajá	17.2	1.0	0.732	1 461
Cantel	43.4	4.6	0.681	1464
San Mateo	22.7	2.2	0.694	327
Zunil	47.5	6.4	0.627	134

Fuente: Cifras para el desarrollo humano (PNUD, 2011).

Se considera como población en pobreza general, a las personas que tienen un ingreso anual estimado en Q. 4,020.00 (USD 530.00 aproximadamente) y población en pobreza extrema, a las personas que tienen un ingreso anual de Q. 1,873.00 (USD 250.00 aproximadamente).

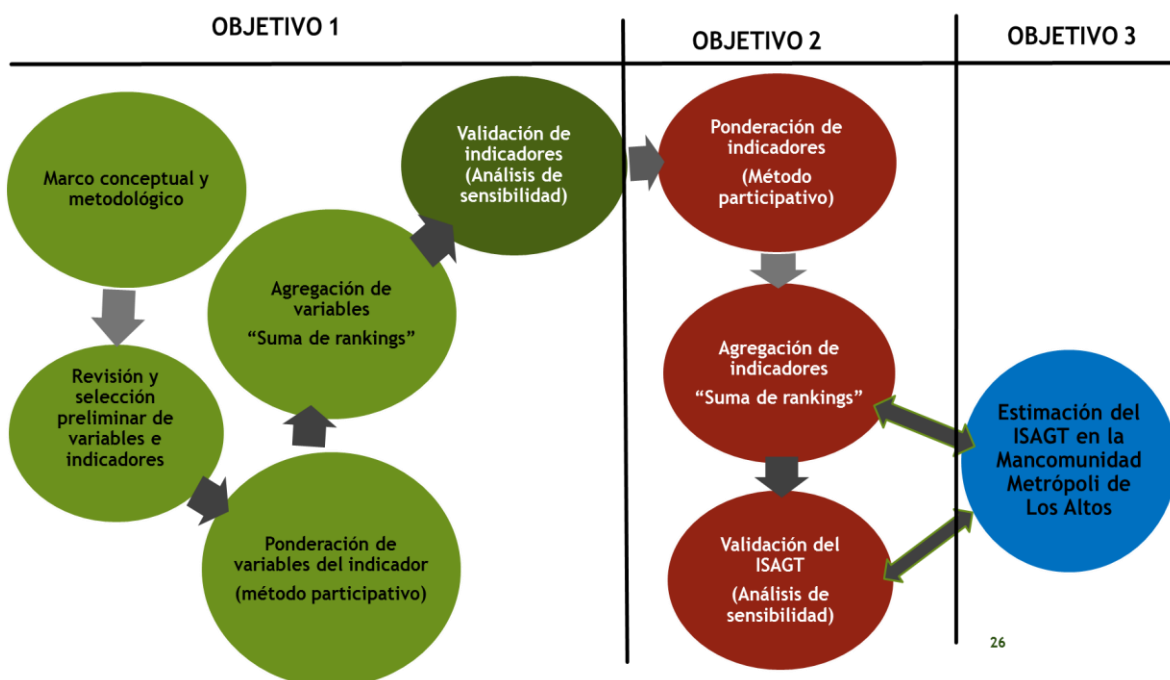
3.2.2. Contexto Temporal

El análisis del estado del arte de los indicadores ambientales, pertinencia nacional y experiencia internacional, se realizó a partir de la promulgación de la Agenda 21, del Programa de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en la conferencia sobre el medio ambiente y Desarrollo, realizado en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992. Para el contexto nacional, se realizó a partir del impulso del marco legal e institucional en el tema ambiental en Guatemala en la década de los años ochenta.

El desarrollo de las metodologías para cada indicador y la fase de recopilación de datos de campo en cada uno de los municipios, se realizó durante los años 2014 y 2015. La ponderación y selección de variables y la validación del índice se concluyó en el año 2016.

3.3. PROCEDIMIENTO Y ETAPAS METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Las etapas metodológicas que se siguieron para el desarrollo de los indicadores físico biológicos, que constituyen el Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala (ISAGT) y con ello alcanzar los objetivos del presente trabajo de investigación, fueron una modificación de las propuestas de Schuschny y Soto (2009) y Quiroga (2009), ya que son una combinación de técnicas participativas (consultas a expertos) y estadísticas, especialmente para la validación del índice, estas se presentan en la **Figura 8**.



Fuente: Elaboración propia con información de Schuschny y Soto (2009) y Quiroga (2009)

Figura 8. Etapas metodológicas para la construcción de índice de sostenibilidad ambiental

3.3.1. Revisión del marco conceptual y metodológico

La primera etapa consistió en la revisión del marco institucional y del contexto nacional, que incluyó un examen de las políticas y leyes existentes en el país, igualmente se recabó información sobre los usuarios actuales y potenciales de los indicadores ambientales y sus necesidades. Se realizó un inventario de las instituciones nacionales que generan datos estadísticos, ambientales y geospaciales, especialmente a nivel municipal. Posteriormente se realizó una revisión de las experiencias internacionales en la elaboración de metodologías de indicadores de sostenibilidad ambiental, se incluyeron países desarrollados y de América Latina y el Caribe, con el propósito de conocer cuáles son sus avances. Esta revisión también consideró lo que realizan las agencias especializadas del sistema de Naciones Unidas, en este caso particularmente la Oficina Regional del PNUMA para ALC y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (Isa, Ortúzar, y Quiroga, 2005).

Durante esta etapa se revisaron los principales marcos conceptuales que sirvieron de base para el diseño de la propuesta de indicadores, así como los principales enfoques metodológicos más utilizados en la actualidad.

Revisión del marco conceptual:

Esta etapa tuvo como propósito lograr que el marco conceptual adoptado y adaptado, fuera el más conveniente para las circunstancias y contexto nacional. Esto ayudó a definir el marco que incorpora las dinámicas ambientales, del capital natural o del desarrollo sostenible de *Brundtland*. De acuerdo al marco conceptual desarrollado por la OCDE (OCDE, 1991, 1993), presión-estado-respuesta; el desarrollo de los indicadores y la estimación del índice ambiental de la presente investigación, se realizó mediante el análisis del estado, no así la presión y

respuesta, bajo la premisa que, la presión sobre el ambiente que llevan a un cambio en su estado, la sociedad responda con medidas o acciones para reducir o prevenir el impacto, identificado a través del índice.

Consideración del enfoque metodológico:

La segunda revisión básica que sirvió para comprender el desarrollo de indicadores, y que es fundamental para definir los indicadores propios, consistió en el enfoque metodológico en que se desenvuelven las iniciativas. De acuerdo a la categorización de los indicadores compuestos, realizado por Schuschny y Soto (2009); la presente propuesta se enmarca dentro de la clasificación de Indicadores sinópticos. Es decir que se trata de los indicadores que intentan proveer una mirada contextual a una cuestión inherentemente compleja, buscan resumir la información de un conjunto de características o variables de interés en un índice. Estos se construyen a partir de la agregación ponderada bajo cierto criterio, de la información que se considera relevante sobre el tema a describir, en este caso el ambiental.

3.3.2. Selección preliminar de indicadores y sus respectivas variables

Se realizó una revisión de los indicadores de desarrollo sostenible propuestos por organismos internacionales y nacionales. La revisión de las propuestas de los organismos internacionales incluyó:

- Los objetivos de Desarrollo del Milenio, que aunque no están asociados particularmente al Desarrollo Sostenible, si incluyen muchos indicadores que pueden considerarse relativos al tema, particularmente los de la meta 7, correspondiente a la sostenibilidad (Naciones Unidas, 2005).

- La base de datos de estadísticas e indicadores ambientales (BADEIMA), que mantiene la División de Estadística y Proyecciones económicas de la Comisión Económica para América Latina, CEPAL (BADEIMA/CEPAL, 2008).
- Los identificados en el marco de la Comisión de Desarrollo Sostenible (United Nations DESA, 2007).
- Indicadores propuestos por la Iniciativa Latino Americana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, ILAC (ILAC, 2008).
- Revisión regional de indicadores propuestos por la Iniciativa Latino Americana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, ILAC (PNUMA, 2011)

A nivel nacional:

- El Perfil Ambiental de Guatemala 2006, de la Universidad Rafael Landivar; IARNA: reflexiones sobre la gestión ambiental (Universidad Rafael Landivar IARNA, 2006) y el Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009, de la Universidad Rafael Landivar; IARNA: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo (Universidad Rafael Landivar IARNA, 2009).

Los criterios considerados para la selección preliminar de los indicadores fueron la pertinencia de los mismos y la disponibilidad y calidad de la información ambiental a nivel municipal. Durante esta etapa, se seleccionaron un total de 19 indicadores, 11 del subsistema físico (capacidad de uso, cambio de uso y conflicto de uso del territorio, calidad de agua superficial, disponibilidad de agua por habitante, gestión de residuos, valor paisajístico, potencial edafológico, potencial de recarga hídrica, calidad del aire y geomorfología) y ocho indicadores del componente biótico (cobertura forestal, cobertura de áreas protegidas, importancia estratégica de las áreas protegidas, flora endémica, fauna endémica, producción de servicios ambientales, estado evolutivo de las áreas protegidas y biodiversidad).

3.3.3. Selección y ponderación de indicadores

Paralelamente a las técnicas de ponderación basadas en criterios estadísticos, pudo establecerse el peso relativo y la selección de cada variable del indicador a partir de metodologías de índole participativa, la cual consiste en consultar la opinión de expertos, los que contribuyen con su conocimiento, y priorizan algunas variables por sobre otras. En la medida en que el conjunto de expertos seleccionados refleje la diversidad de ramas del conocimiento, el indicador compuesto contará con mayor consenso al momento de su comunicación, y, por lo tanto, se transformará en una herramienta válida y eficaz para la ponderación de los indicadores y sus variables (Schuschny y Soto, 2009).

Para evitar la subjetividad en la estimación del índice de sostenibilidad ambiental, especialmente en tres puntos fundamentales de su construcción, como lo son: a) la selección de las variables e indicadores, b) la ponderación de las variables de cada indicador y c) la ponderación de los indicadores; se recurrió a la consulta de expertos de acuerdo a la metodología Delphi. La capacidad de predicción de Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos (Astigarraga, 2000).

Es decir, al aplicar el método Delphi, se procedió a generar interrogantes a expertos con la ayuda de cuestionarios, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos, sobre la importancia de los indicadores y las variables seleccionadas.

Los pasos para ello son los siguientes:

a. Formulación del problema, diseño y envío de cuestionarios a expertos

En esta actividad se proveyó a los expertos de información sobre el contexto, los objetivos y el diseño de la presente investigación. Además se consideró la hipótesis y las preguntas de investigación planteadas. Así mismo, se incluyó el listado preliminar de indicadores con sus respectivas variables, las que fueron identificadas en la etapa anterior, para su respectiva priorización. Los cuestionarios se elaboraron con mecanismos que redujeran los sesgos en las respuestas, construyéndose preguntas claras, precisas e independientes, tanto cuantitativas (para calcular medias y rangos) y cualitativas (para la justificación de sus opiniones).

Los cuestionarios utilizados para el método Delphi, fueron contruidos de tal manera que las respuestas de los expertos las realizaran con base a una escala tipo Likert. La escala Likert, es una escala psicométrica, en la cual se especifica el nivel de acuerdo o desacuerdo con un elemento de juicio, en donde 1 es equivalente a totalmente en desacuerdo y 5 a totalmente de acuerdo (García y Suárez, 2013). Los cuestionarios se enviaron por correo electrónico a cada uno de los expertos seleccionados y de la misma manera fueron reenviados los mismos ya con sus respectivas respuestas (ver en el **Anexo 9** el modelo de cuestionario).

b. Selección de expertos

De acuerdo con Astigarraga (2000) el experto es *“aquel individuo cuya situación y recursos personales lo posibiliten contribuir positivamente a la consecución del fin que ha motivado la iniciación del trabajo y que pueda a su vez aportar una perspectiva relevante a la investigación”*. La selección de expertos se hizo bajo los siguientes criterios: profesionales con dominio y experiencia en el tema, con preparación académica preferiblemente con el grado de maestría o doctorado, con reconocida competencia que garantice la confiabilidad de los resultados.

Respecto al número de expertos considerados Astigarraga (2000, p. 3) razona que un grupo de 7 a 15 expertos puede ser metodológicamente fiable, ya que a partir de este número se "*disminuye el espacio intercuartil precisando la mediana*". Para el presente estudio, se seleccionaron 11 expertos, y se consideró la experiencia y conocimiento que tienen sobre los aspectos particulares de cada indicador, escogidos en la etapa anterior. Para este caso, los expertos elegidos tres poseen el grado de Doctor, cinco el de Maestría en Ciencias y tres a nivel de licenciatura; con especialidades tales como: cambio climático, manejo de cuencas hidrográficas, desarrollo rural, gestión ambiental, ciencia y tecnología del recurso hídrico, ordenamiento territorial, agricultura sostenible, administración de tierras, economía agrícola e investigación social.

c. Tabulado y análisis estadístico de la información

Después de recibidos los cuestionarios con sus respectivas respuestas, se procedió a tabular la información para generar una base de datos en el programa Excel. Los estadísticos que se emplearon en esta etapa fueron medidas de tendencia central y dispersión: media, mediana, moda, máximo, mínimo y desviación típica. Esta etapa tuvo como propósito hacer una segunda ronda de preguntas, tanto para la selección de los indicadores como para la ponderación de las variables que constituyen cada uno de los indicadores.

El criterio utilizado para la selección de las variables, fue el de utilizar la zona de amplio consenso, entorno a la media de la muestra; es decir, aquella en las que en las respuestas del grupo de expertos, la desviación típica sea menor de 0.85. En aquellos casos en los cuales la desviación típica fue mayor a la zona de amplio consenso, se les solicitó a los expertos que justificaran su respuesta (Astigarraga, 2000).

3.3.4. Normalización de variables

Debido a que muchas de las variables seleccionadas están expresadas nominalmente en diferentes unidades físicas, para proceder a agregarlas en el indicador, es necesario normalizarlas para evitar la congregación de variables de unidades de medida distintas y la aparición de fenómenos dependientes de escala. Por lo que la estandarización tiene como objeto salvar el problema derivado de las distintas unidades de medida y la forma funcional de los indicadores (Castro Bonaño, 2009), (Jochem y Böhringer, 2007).

Previo a agregar las variables, se realizó la normalización de las mismas, las que para el presente caso de investigación, se utilizó la técnica de la “Estandarización”. Dado que para cada variable se puede calcular la media y la desviación estándar, medida sobre la población de unidades de análisis, es posible estandarizar la variable, al calcular el valor estandarizado, llamado también valor “z” (o z-score), como:

$$y_t^i = \frac{x_t^i - \bar{x}_t}{\sigma_t^x}$$

Para cada unidad de análisis i , el valor obtenido representa la distancia entre el valor de la variable y la media poblacional, expresada en unidades de desviación estándar. La ventaja de esta representación es que, los valores de cada unidad de análisis quedan estandarizados con respecto de una misma distribución; así mismo, dado que la media que deviene de las transformaciones es cero, se evita cuando se agregan las variables, la presencia de distorsiones debidas a las diferencias entre las medias de los indicadores (Schuschny y Soto, 2009).

3.3.5. Agregación de las variables

De acuerdo con Schuschny y Soto (2009) una de las etapas cruciales en la construcción de indicadores, consiste en componer los múltiples indicadores y variables seleccionadas en el indicador compuesto (índice) propiamente dicho. Ello supone la necesidad de agregar la información de manera uniforme o, según se considere, se establecen diferentes factores de peso que den cuenta de la importancia relativa del indicador en el agregado.

Stepping (2013), insiste que desde el punto de vista estadístico, las variables individuales y los agregados de varias variables se pueden añadir, siempre y cuando ninguna variable se incluya como una sola variable y que ésta también sea parte de otro agregado, y viceversa. Si ese fuera el caso, la consecuencia sería una doble contabilidad debido a que el mismo factor fue considerado dos veces en el cálculo del índice.

Para este caso se utilizó la “Suma de Rankings”, la cual de acuerdo con Schuschny y Soto (2009), es el método más ampliamente utilizado. Una vez normalizadas las variables y calculados los factores de peso, el indicador compuesto se calcula como:

$$I_t^j = \sum_{i=1}^p w^i y_t^{ij} = w^1 y_t^{1j} + \dots + w^p y_t^{pj}$$

Con

$$\sum_{i=1}^p w^i = 1 \text{ y } 0 \leq w^i \leq 1 \forall 1 \leq i \leq p, \forall j, 1 \leq j \leq N \text{ municipio}$$

La ecuación de síntesis para estimar el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT), se realizó a través de analizar la definición e interpretación del valor teórico; este valor se define como una combinación lineal de la realización de las variables

aleatorias (X_j) con su respectiva ponderación (w_j), determinadas empíricamente por la técnica multivariante específica (Castro Bonaño, 2009):

Valor teórico del índice: $w_1X_1+w_2X_2+\dots+w_jX_j$

3.3.6. Validación del indicador

La validez del índice se realizó a través del análisis de sensibilidad de las variables de cada indicador y posteriormente se realizó el mismo procedimiento a los indicadores del índice. Este análisis consiste en determinar si pequeñas variaciones en las variables contenidas en los indicadores y en los indicadores que se incluyen en el índice, conducen efectivamente a pequeñas variaciones en el valor del indicador compuesto.

El análisis de sensibilidad se realizó a partir del uso de la varianza: la construcción del indicador compuesto puede ser comparada al desarrollo de un modelo (por ejemplo, un modelo econométrico) que posee numerosas fuentes de incertidumbre. El empleo de una metodología de estimación de la sensibilidad frente a cambios basada en el uso de la varianza tiene la ventaja de que puede ser utilizada aun cuando la representación sea no lineal (aunque estable en el sentido de que las perturbaciones no se amplifican); además, es de fácil interpretación, lo que permite distinguir los principales factores que afectan la sensibilidad del indicador (Schuschny y Soto, 2009).

Las dos variables de salida consideradas en el análisis de sensibilidad serán: **Ranking (I_j) y/o \bar{R}_s** . Se rotulará como **Y** a cualquiera de ellas. Para calcular la varianza asociada a la sensibilidad frente a cambios en el factor: **X_k** se considera su contribución a la varianza de la variable de salida: **Y** producto de la incertidumbre de **X_k** . Esto puede expresarse como:

$$V_k = V_{x_k}(E_{x-k}(y | x_k)) \quad (1)$$

Una forma de leer esta ecuación es imaginar que el factor X_k queda fijo y definido por un valor específico X_k . Luego se computa la media de la variable de salida Y sobre todos los factores (con excepción de X_k). Para que quede expresado lo que indica la ecuación (1), basta tomar la varianza de la función resultante de X_k . El valor de X_k quedará comprendido entre cero, cuando X_k no contribuye a afectar a Y (a primer orden) y $V(Y)$, la varianza no condicional de Y (cuando los otros factores no influyen de manera alguna). Siempre se cumple que:

$$V_{x_k}(E_{x-k}(y | x_k)) + E_{x_k}(V_{x-k}(y | x_k)) = V(y) \quad (2)$$

Donde el primer término se considera como el término principal y el segundo como residual. Este término residual puede interpretarse como el valor esperado de la varianza condicional promediada sobre todos los valores posibles del factor X_k . Un indicador de sensibilidad de primer orden puede obtenerse al normalizar el término de primer orden respecto de la varianza no condicionada:

$$S_k = \frac{V_{x_k}(E_{x-k}(y | x_k))}{V(y)} \equiv \frac{V_k}{V(y)} \quad (3)$$

Una vez que se han estimado las varianzas condicionales para varios factores, por ejemplo los X_k y X_h es posible calcular:

$$V_{x_k x_h}(E_{x_{kh}}(y | x_k, x_h))$$

y a partir de esto, el término de contribución a la varianza a segundo orden:

$$V_{kh} = V_{x_k x_h}(E_{x_{kh}}(Y | x_k, x_h)) - V_{x_k}(E_{x_k}(Y | x_k)) - V_{x_h}(E_{x_h}(Y | x_h)) \quad (4)$$

Al suponer que todos los factores son independientes entre sí, se puede agregar la contribución a la variabilidad de una varianza total (para este ejemplo se han considerado tres), se obtiene:

$$v(y) = \sum_{k=1}^3 V_k + \sum_{k=1}^3 V_k \sum_{h>k}^3 V_{kh} + \sum_{k=1}^3 V_k \sum_{h>k}^3 V_{kh} \sum_{\substack{l>h \\ h>k}}^3 V_{khl} \quad (5)$$

Cada término de la ecuación combina las interacciones entre los diversos factores que se consideran independientes y que combinados en la agregación afectan la varianza de la variable de salida **Y**. Conocida esta varianza total, es posible calcular el índice de sensibilidad para cada factor según:

$$S_{T_1} = V(y) - V_{x_2 x_3} \frac{(E(y|x_2, x_3))}{V(y)} = S_1 + S_{1,2} + S_{1,3} + S_{1,2,3} \quad (6)$$

y análogamente:

$$S_{T_2} = S_2 + S_{1,2} + S_{2,3} + S_{1,2,3} \quad (7)$$

$$S_{T_3} = S_3 + S_{1,3} + S_{2,3} + S_{1,2,3} \quad (8)$$

La varianza condicional $V_{x_2 x_3} (E_{x_1}(Y|x_2, x_3))$, puede escribirse en términos genéricos como: $V_{x-k} (E_{x_k}(Y|x-k))$ y expresa la contribución total a la varianza de **Y** debido a los factores distintos de X_k , por lo que $V(Y) - V_{x-k} (E_{x_k}(Y|x-k))$ involucra la variabilidad (a primer orden) debida al factor X_k . Dada la ecuación (2), el índice de sensibilidad puede escribirse como:

$$S_{T_k} = \frac{V(y) - V_{x-k} (E_{x_k}(y|x-k))}{V(y)} = \frac{E_{x-k} (V_{xk} (y|x-k))}{V(y)} \quad (9)$$

Toda diferencia sustantiva entre S_{T_k} y el índice de sensibilidad a primer orden: S_k indicaría que la interacción entre factores es relevante (Schuschny y Soto, 2009).

3.4. Estimación de ISAGT en la Mancomunidad de municipios Metrópolis de Los Altos

La captura de información para la validación por métodos participativos y estadísticos de los indicadores y del Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT), se realizó en 8 municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos: Quetzaltenango, Almolonga, Zunil, Cantel, Salcajá, Olintepeque, La Esperanza y San Mateo.

Se seleccionó a la Mancomunidad de Municipios Metrópoli de Los Altos, como área piloto, por la diversidad de las características económicas, sociales, culturales y ecológicas que presentan los municipios que la constituyen. En cada uno de los municipios se recabó información de cada variable que constituye el sistema de indicadores físico-biológicos.

Los resultados del Índice de Sostenibilidad Ambiental de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de los Altos se presenta en el Capítulo V.

IV. RESULTADOS: GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

A través de estimar el índice de sostenibilidad ambiental, se pueden encontrar diferentes niveles de información, los cuales permiten promover e impulsar procesos y estrategias de planificación, para configurar en el corto, mediano y largo plazo, una ordenación del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y restricciones ambientales del mismo.

La etapa de revisión de indicadores de desarrollo sostenible, en los que se incluyeron los propuestos por organismos internacionales, tales como: Comisión de Desarrollo Sostenible (United Nations DESA, 2007), los objetivos del Milenio (Naciones Unidas, 2005), la base de datos de estadísticas e indicadores ambientales (BADEIMA), que mantiene la División de Estadística y Proyecciones económicas de la Comisión Económica para América Latina, CEPAL (BADEIMA/CEPAL 2008) y los indicadores propuestos por la Iniciativa Latino Americana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, ILAC (PNUMA, 2011); sirvió para realizar una selección preliminar.

De estos indicadores preseleccionados, 11 fueron del subsistema físico: capacidad de uso, cambio de uso y conflicto de uso del territorio, calidad de agua superficial, disponibilidad de agua por habitante, gestión de residuos, valor paisajístico, potencial edafológico, potencial de recarga hídrica, calidad del aire y geomorfología. Y ocho del componente biótico: cobertura forestal, cobertura de áreas protegidas, importancia estratégica de las áreas protegidas, flora endémica, fauna endémica, producción de servicios ambientales, estado evolutivo de las áreas protegidas y biodiversidad. Los criterios considerados para esta primera selección, se sustentó

en la priorización y pertinencia que realizaron los expertos y por la disponibilidad de información a nivel municipal. Dentro de las limitantes encontradas para la selección final de estos indicadores y sus variables, fue la escasez de estadística e información ambiental, especialmente a nivel municipal.

El grupo de expertos, seleccionó y ponderó finalmente siete indicadores de los 19 preseleccionados. El Índice de Sostenibilidad Ambiental a nivel municipal para Guatemala (ISAGT), quedó integrado por 19 variables en siete indicadores, tres del subsistema físico y cuatro del subsistema biótico, ellos son:

Indicadores Subsistema físico:

- 1) Indicador de la conflictividad de uso del territorio (ICUT).
- 2) Indicador de la calidad de agua superficial (ICAS).
- 3) Indicador de gestión de residuos (IGR).

Indicador Subsistema biótico (ISB):

- 4) Cobertura forestal.
- 5) Extensión del área protegida
- 6) Flora endémica
- 7) Estado evolutivo del área protegida

El procedimiento seguido para generar la metodología para cada uno de los indicadores que constituyen el ISAGT y su respectiva validación, se presenta a continuación:

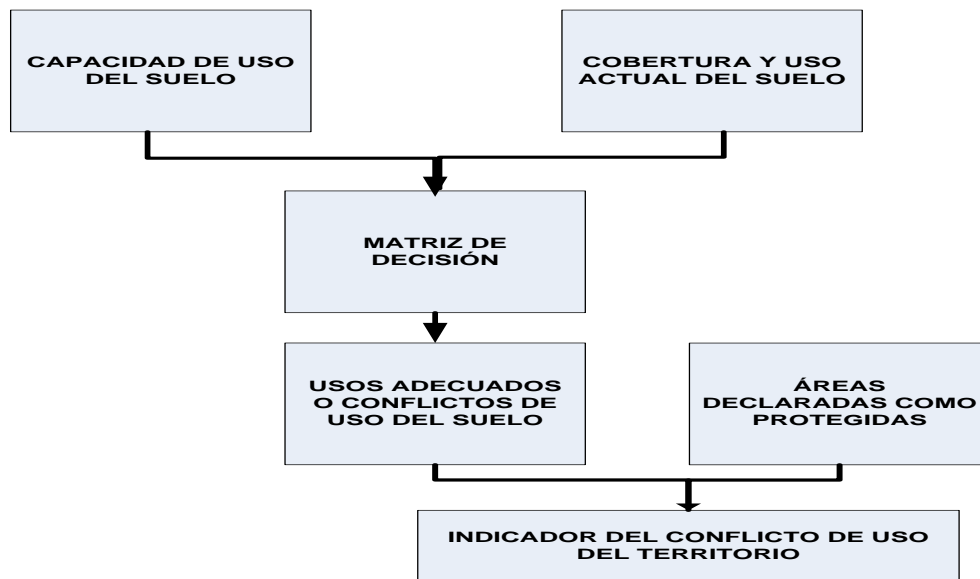
4.1. GENERACIÓN DEL INDICADOR CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT)

4.1.1. Definición del indicador

El indicador de la Intensidad de Uso del Territorio, quedó definido como la determinación y cuantificación de la extensión y distribución geográfica, en un período de tiempo determinado, de la idoneidad del uso del territorio de acuerdo a su uso potencial. Este indicador mide la tendencia de transformación de un tipo de uso del territorio hacia su uso óptimo, provee información sobre el estado de la aplicación de políticas de ordenamiento territorial (Gómez, 2008).

El indicador de Intensidad de Uso del Territorio (ICUT), se realizó con base en el análisis biofísico del área de estudio, para determinar las divergencias entre el uso potencial (basado en su aptitud y vocación natural) que puede ser practicado sin riesgo de deteriorar el suelo, y el uso actual que se hace del territorio en cuestión.

Por lo tanto, para evaluar los conflictos de uso de la tierra se realizó un análisis comparativo de la capacidad de uso del suelo de acuerdo a la metodología de INAB (Instituto Nacional de Bosques, 2000), con el uso actual, a través de una matriz de análisis de conflictos de uso del territorio, dándoles una calificación apreciativa en función de cada tipo de uso (apropiado, sub uso y sobre utilizado) presente en el municipio (ver **Figura 9**).



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Figura 9. Esquema metodológico para la estimación del indicador de conflicto de uso del territorio.

4.1.2. Pertinencia del indicador

Un problema frecuente en Guatemala, es la utilización de las tierras para la cual no tienen aptitud, o su utilización en actividades por encima de su capacidad de uso. Este indicador proporciona información para solucionar problemas relacionados con la degradación y la conservación de suelos y problemas relacionados con las políticas sobre manejo sostenible de tierras ya que define el grado de compatibilidad del territorio, de acuerdo a su capacidad de uso potencial.

4.1.3. Procedimiento para el cálculo

Para la generación del indicador de conflicto de uso del territorio, se elaboró un mapa utilizando como herramienta los sistemas de información geográfico, para ello

se unieron las capas (*shape*) de uso actual, capacidad de uso del territorio y la capa de áreas protegidas, todas obtenidas de las capas realizadas a nivel nacional por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), de la siguiente manera:

Mapa de capacidad de uso del territorio

Para ello se utilizó el mapa generado por el IGN en enero del año 2000, este es una representación espacial tipo vector, el formato de distribución es *Arc View ShapeFile*, a escala 1:250000. La clasificación está basada en las normas y principios del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) ajustado a los patrones edáficos, climáticos y toponimiográficos existentes en el país. Conforme al sistema de clasificación las Clases I a IV, son para uso agrícola con diversas limitantes, la V tiene usos silvopastoriles, forestales y de protección; la VI es útil para cultivos permanentes y sistemas agroforestales; la VII agrupa suelos apropiados para la explotación forestal y a la VIII se le asignan usos preferentemente de conservación o protección.

Mapa de uso actual del territorio

Para la elaboración del mapa de uso actual del territorio, se utilizaron de base 16 ortofotos del IGN del Proyecto MAGA del año 2006 (18601-19, 18601-20, 18601-24, 18601-25, 18602-4, 18602-5, 18602-9, 18602-10, 18602-14, 18602-15, 19603-1, 19603-3, 19604-16, 19604-17, 19604-21, 19604-22). Con estas imágenes se procedió a utilizar el *software ArcGis 9.1*, con el que se reconocieron e identificaron los diferentes usos de suelo, por medio del contraste de tonalidades, es decir el cambio de grises de las ortofotos. Se realizó una corrección del uso actual, para ello se utilizaron imágenes de *Google Earth* del 2014, las que por medio de fotoanálisis en el *software QGIS* se generó un *shape* de entidad polígono en sistema de

referencia WGS 84 UTM Zona 15, a través del proceso de delimitación o digitalización (ver **Anexo 8** para el procedimiento completo).

Mapa de conflicto de uso del territorio

Para crear el mapa de conflicto de uso del territorio se usó el programa *ArcGis* 9.1 (similar en versiones posteriores), en las que se definieron las categorías: uso correcto, sobre uso y sub uso del territorio de acuerdo a la matriz de decisión que se presenta en el **Cuadro 2** (ver la hoja metodológica en el **Anexo 1**, donde se presenta el procedimiento completo).

Cuadro 2. Categorías de conflicto de uso del territorio.

Uso potencial	Uso actual	Conflicto
Agroforestal	Agrícola	Sobre utilizado
Agroforestal	Forestal	Sobre utilizado
Agroforestal	Sin Uso	Sub utilizado
Agroforestal	Urbano	Urbano
Protección	Agrícola	Sobre utilizado
Protección	Forestal	Uso Adecuado
Protección	Sin Uso	Uso Adecuado
Protección	Urbano	Urbano
Agricultura Intensiva	Agrícola	Uso Adecuado
Agricultura Intensiva	Forestal	Sub utilizado
Agricultura Intensiva	Sin Uso	Sub utilizado
Agricultura Intensiva	Urbano	Urbano
Agricultura Conservación	Agrícola	Uso Adecuado
Agricultura Conservación	Forestal	Sub utilizado
Agricultura Conservación	Sin Uso	Sub utilizado
Agricultura Conservación	Urbano	Urbano

Fuente: elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

4.1.4. Criterios de ponderación del indicador de conflicto de uso del territorio

Después de realizada la consulta a expertos, sugerida en la metodología Delphi, la ponderación de cada una de las unidades de mapeo y el criterio de ponderación, se presentan en el **Cuadro 3**:

Cuadro 3. Criterios de ponderación del indicador de conflicto de uso del territorio (ICUT).

Conflicto de uso	Ponderación	Criterio de ponderación	Color interpretativo
CONFLICTO POR SOBRE USO: Calificación dada a las tierras en donde el uso actual dominante es más intenso, en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas.	1	75% a 100% del territorio bajo esta categoría	Rojo
	2	30% a 74% del territorio bajo esta categoría	Naranja
CONFLICTO POR SUB USO: Calificación dada a las tierras donde el uso dominante corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la vocación de uso principal o la de los usos compatibles.	3	30% a 100% del territorio bajo esta categoría	Amarillo
SIN CONFLICTO DE USO: El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras.	4	30% a 74% del territorio bajo esta categoría	Verde
	5	75% a 100% del territorio bajo esta categoría	Azul

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

4.1.5. Ecuación de Síntesis del indicador Conflicto de uso del territorio (ICUT)

Para este indicador no se generó una ecuación de síntesis, sino únicamente se consideró el valor del criterio de ponderación otorgado por los expertos, de acuerdo a lo descrito en el **Cuadro 3**.

4.1.6. Validación del indicador

Para la validación de este indicador, no se usaron criterios estadísticos, sino se realizó a partir de metodologías de índole participativa (Delphi), por medio de la cual se seleccionaron y establecieron los criterios de ponderación y el peso relativo de cada una de las variables.

4.2. METODOLOGÍA PARA EL INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES (ICAS)

4.2.1. Definición del indicador

Se entiende por calidad natural del agua, al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, subsuelo, entre otras. La calidad del agua, no es un término absoluto y que por lo tanto su evaluación debe realizarse en función del uso o actividad a que se destina. Para la evaluación de la calidad de agua con fines de gestión ambiental territorial, debe realizarse tomando en cuenta los usos potenciales del recurso (Fernández, Ramírez, y Solano, 2005).

Existen diferentes metodologías para estimar la calidad de agua, en función del uso que quiera dársele al recurso hídrico, entre ellos están: el índice de contaminación por mineralización, índice de contaminación por materia orgánica, índice de contaminación trófica, índice de contaminación por sólidos suspendidos, índice de contaminación por pH, entre otros (Valcarcel Rojas, Alberro Macías, y Frías Fonseca, 2009).

Para el propósito de esta investigación, no se desarrolló ninguna metodología propia, sino se adoptó una de las existentes en función de los objetivos de este trabajo, eligiendo la propuesta por Brown R. M., McClelland, Deininger, y Tozer (1970), la cual es una versión modificada del “WQI” (Water Quality Index) desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF) (ver el proceso metodológico en la **Figura 10**).

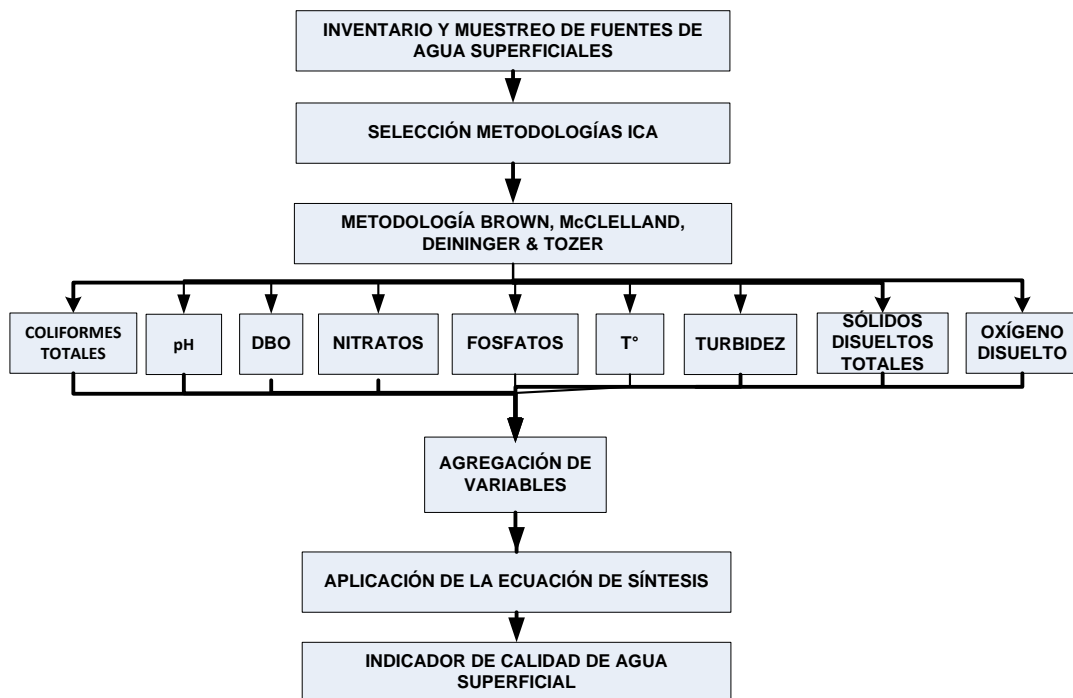
En este sentido, La Universidad de Pamplona (Universidad de Pamplona, 2007), en la evaluación que realiza sobre los Índices de Calidad y de Contaminación de Aguas, determina que existen diferentes índices, pero que a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o un país son ampliamente utilizados en el mundo y han sido validados en diferentes estudios, como los índices ICA de la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NSF) (1970). A partir de estos, varios autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes fuentes de agua. Siendo el índice de la NSF de 1970 el fundamento para el desarrollo de cada una de los nuevos índices.

Díaz Cano (2010) también realiza un estudio comparativo de cuatro índices de calidad del agua: Índice de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (NSF WQI), ICA de México, Índice de Contaminación de Colombia y el ICA Armonizado de 12 países de Latinoamérica. En este trabajo también concluye que cada uno presenta diferentes clasificaciones debido a la ponderación de parámetros, la fórmula de agregación y el esquema de categorización. El Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, es apropiado con fines de evaluar la vida acuática en aguas continentales como ríos y lagos, y que el NSF WQI que está basado en nueve parámetros muy importantes, incluye una variable microbiológica como lo es la de coliformes totales. Este índice es apropiado para la valoración de la calidad de aguas superficiales, tales como

fuentes y manantiales y tiene la ventaja de proporciona información útil y fácil de comprender de la calidad del agua superficial.

García A. (2015), en su trabajo "*Determinación de la calidad, las potencialidades y restricciones de uso de las aguas superficiales de los municipios conurbados de la mancomunidad Metrópoli de Los Altos*", realiza un análisis de cinco indicadores de calidad de agua utilizados a nivel internacional, para seleccionar el que más se adapta y adopta a las condiciones del país. Para ello, realiza una lista de chequeo comparativo y los prioriza a través de las categorías propuestas por Dunnette, en función de aquellas variables que presentaron el mayor número de frecuencias. En este trabajo concluye que el que más se adapta a las condiciones de las aguas superficiales de Guatemala, es el "WQI" (Water Quality Index) desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF), especialmente por considerar parámetros de contaminación provocados por aguas residuales, como lo son las coliformes totales, la que no es incluida por otros indicadores.

También Calvo (2015) indica que no existe un indicador de agua universal, pues cada uno de ellos muestra distintos niveles de contaminación aunque los puntos muestreados sean los mismos. En ese sentido recomienda que la selección debe hacerse en función de la legislación nacional y aquellos que presenten mayor estabilidad en el tiempo. Para la determinación de la calidad de agua, Calvo (2015) dentro de los indicadores de calidad agua que compara, se encuentra el Sistema de Clasificación Holandés, este solo depende de tres variables: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal (NH₄) y el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), dejando fuera una variable microbologica muy importante para el contexto guatemalteco, como lo son las coliformes totales, que es un indicativo de la contaminación del agua por aguas residuales.



Fuente: elaboración propia, con información de la metodología de Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer (1970)

Figura 10. Esquema metodológico para la estimación del indicador de la calidad de agua superficial (ICAS).

4.2.2. Pertinencia del indicador

La calidad del agua, es uno de los indicadores del estado del ambiente. El uso del agua ha sido asociado al consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Este indicador evalúa el nivel potencial de contaminación de fuentes superficiales y monitorea el progreso hacia la reducción de este potencial en el marco de la gestión integrada de recursos hídricos. Ayuda a identificar a las comunidades en que se requiere una acción de tratamiento de aguas residuales para proteger el ecosistema.

4.2.3. Procedimiento

Se realizó un inventario de las fuentes de agua superficial de cada uno de los municipios en estudio, luego se procedió a la toma de muestras de agua, las que únicamente fueron obtenidas durante la época seca (ver los resultados de las muestras de agua en el **Anexo 10**). Para determinar la muestra de las fuentes superficiales, se empleó el método estadístico de poblaciones finitas y el método aleatorio estratificado simple, como medida de selección:

$$n = \frac{N \sum \sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sum \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

N = Población total (Número total de fuentes de agua)

n = Tamaño de la muestra

($\sum \sigma$) = Sigma (0.5)

Z = Nivel de confianza (95%)

e = Error aceptable (0.1)

4.2.4. Variables y su ponderación en el indicador de la calidad de agua superficial (ICAS)

Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer (1970), utilizaron la metodología Delphi, para priorizar y ponderar las variables que constituyen el indicador. La evaluación comparativa de las respuestas dadas por todos los expertos, priorizaron al principio 35 variables y en el resultado final se identificaron 9 variables importantes: Oxígeno Disuelto, DBO5, Coliformes fecales, pH, Nitratos, Fosfatos, Desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Totales (Valcarcel Rojas, Alberro Macías, y Frías Fonseca, 2009). Las variables con su respectiva ponderación se presentan en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Ponderación propuesta para cada una de las variables para estimar el indicador de la calidad de agua superficial (ICAS).

VARIABLES	PONDERACIÓN (%)	UNIDAD DE MEDIDA
Coliformes totales	15	Colonias/100ml
pH	12	Unidades
DBO	10	mg/l
Nitratos	10	mg/l
Fosfatos	10	mg/l
Temperatura	10	°C
Turbidez	08	FTU (Unidad de Turbidez de la Formazina)
Sólidos disueltos totales	08	mg/l
Oxígeno disuelto	18	% saturación

Fuente: Índice Calidad de Agua de la NSF (Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer, 1970)

4.2.5. Ecuación de síntesis para estimar el indicador de calidad de agua superficial (ICAS)

El indicador de Calidad de Agua (ICA), es ampliamente utilizado a nivel internacional y utiliza un promedio aritmético ponderado (Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer, 1970):

$$ICAS = \sum_{i=1}^n q_i W_i$$

En donde:

- ICAS = Indicador de calidad de agua superficial
- N = Número de variables
- q_i = Escala de calidad (subíndice) del parámetro i
- W_i = Factor de ponderación de la variable i

El factor de ponderación de la variable i (W_i) denota la importancia o ponderación de la variable i respecto a las restantes variables que conforman el índice (ver **Cuadro 4**). Y q_1 corresponde al factor de escala de la misma, la cual depende de la magnitud de la variable y es independiente de las restantes, se estima de acuerdo con diagramas contruidos para cada variable, lo cual permite llevarlas a una misma escala antes de ser agregadas en un solo valor (ver el procedimiento en el **Anexo 2**).

La ecuación de síntesis desarrollada para estimar el indicador de calidad de agua superficial, se estableció de la siguiente manera:

$$\text{ICAS} = (0.15 \cdot \text{Cf}) + (0.12 \cdot \text{pH}) + (0.10 \cdot \text{DBO}) + (0.10 \cdot \text{N}) + (0.10 \cdot \text{F}) + (0.10 \cdot \text{T}) + (0.08 \cdot \text{Tu}) + (0.08 \cdot \text{Sdt}) + (0.18 \cdot \text{Od})$$

En donde:

ICAS	=	Indicador calidad de agua superficial
W	=	Ponderación de cada variable
Cf	=	Coliformes totales
pH	=	pH
DBO	=	Demanda Bioquímica de Oxígeno
N	=	Nitratos
F	=	Fosfatos
T	=	Temperatura
Tu	=	Turbidez
Sdt	=	Sólidos disueltos totales
OD	=	Oxígeno disuelto

4.2.6. Interpretación de los resultados del indicador de la calidad de agua superficial (ICAS)

El Indicador de Calidad de Agua de fuentes superficiales adopta, para condiciones óptimas, un valor máximo determinado de 100, el cual disminuye con el aumento de la contaminación del agua en estudio. Posteriormente al cálculo del indicador de calidad de agua, y para poder utilizar esta información en la ecuación de síntesis del índice ambiental, se le asignó a la misma una ponderación en escala tipo Likert (García y Suárez, 2013), es decir, entre uno y cinco, tal y como se observa en el **Cuadro 5:**

Cuadro 5. Clasificación del Indicador de Calidad de Agua Superficial (ICAS) y su respectiva ponderación.

Calidad del agua	Valor calidad de agua (NSF)	Conversión a escala Likert	Color interpretativo
Muy mala	0 a 25	1	Red
Mala	26 a 50	2	Naranja
Media	51 a 70	3	Amarillo
Buena	71 a 90	4	Verde
Excelente	91 a 100	5	Azul

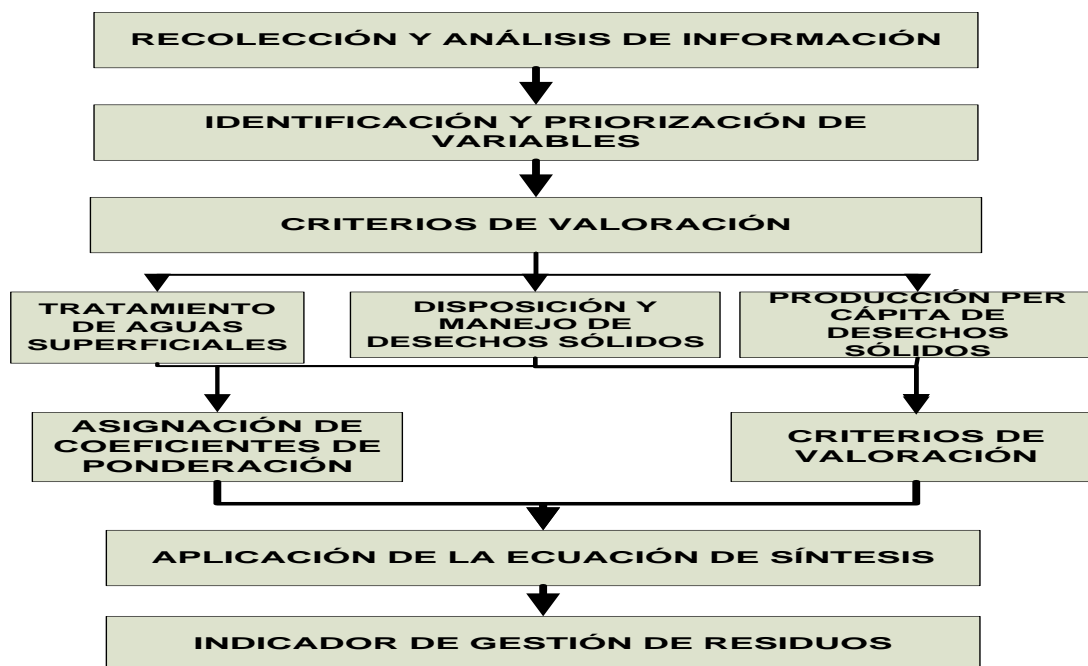
Fuente: Elaboración propia con información de Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer (1970).

4.3. GENERACIÓN DEL INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR)

4.3.1. Definición del indicador

Se define como residuo a aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producidas. Colomer y Gallardo (2007), definen a los residuos como *“cualquier objeto, material, sustancia o producto que se encuentra en estado sólido, semisólido, líquido o gas contenido en recipientes, cuyo generador descarta, porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó”*. Asimismo, los mismos autores definen a la gestión de residuos como: *“interrelación de acciones de política, normativas, financieras, administrativas, sociales, educativas y monitoreo, desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social”*.

En la **Figura 11** se presenta el esquema metodológico, usado para la generación del indicador gestión de residuos (IGR).



Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Figura 11. Esquema metodológico para la generación del indicador de la gestión de residuos (IGR).

4.3.2. Pertinencia del indicador

La importancia de gestionar bien los recursos es tal que diversos acuerdos internacionales y las Conferencias mundiales sobre el medio ambiente, como la de Río de 1992, han tratado el tema. La mala o inadecuada gestión de residuos (ya sean estas aguas residuales o residuos sólidos) origina una serie de impactos ambientales. En muchos municipios la mayor parte de las aguas residuales se descarga en el medio ambiente sin haber sido tratadas previamente o no habiéndolo sido eficientemente. Se trata de una situación insostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental, especialmente habida cuenta de la creciente demanda de recursos hídricos finitos, del rápido crecimiento de la población, especialmente en las zonas urbanas, de la expansión industrial y de la necesidad

de ampliar la agricultura de regadío. La mala calidad del agua reduce la disponibilidad de recursos hídricos para fines concretos, en particular para las necesidades domésticas, y tiene consecuencias adversas para la salud pública. Por consiguiente, el tratamiento de las aguas residuales es uno de los requisitos fundamentales de la sostenibilidad (ver hoja metodológica en el **Anexo 3**).

La generación de residuos tiene un impacto directo en la salud y el medio ambiente a través de la exposición a este tipo de desechos. Normalmente, se requiere la exposición a largo plazo antes de que se observan efectos nocivos. Para la reducción de desechos en un municipio se requiere de la producción más limpia en los procesos industriales, como un cambio de los patrones en los hábitos de los consumidores y cambios en la legislación nacional.

4.3.3. Criterios de ponderación de las variables del indicador gestión de residuos (IGR)

Los criterios para la estimación de este indicador, se hizo en función del nivel de eficiencia en el manejo y disposición de los desechos sólidos, la producción per cápita de estos desechos y el nivel de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, a nivel municipal.

Los criterios que se utilizaron para la ponderación de este indicador se presentan en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6. Criterios y ponderación para la generación del indicador de gestión de residuos (IGR).

Componente	Ponderación	Tipo de tratamiento	Eficiencia	Valor
Tratamiento Aguas Superficiales	50%	Sin tratamiento	0	1
		Tratamiento primario (fosa séptica)	35%	2
		Tanque Imhof	50%	3
		Pre tratamiento (canal de rejas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof	70%	4
		Pre tratamiento (canal de rejas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida	90 al 100%	5
Disposición y manejo de desechos Sólidos	40%	Basureros al aire libre (basureros clandestinos) o baja eficiencia y cobertura en el sistema de recolección	0 %	1
		Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre	30 %	2
		Sistema de recolección y relleno sanitario	50 %	3
		Sistema de recolección + clasificación + relleno sanitario	75 %	4
		Sistema de recolección + clasificación + compostaje+ relleno sanitario + Sistema de tratamiento de lixiviados	80 – 100 %	5
Componente	Ponderación	Producción per cápita de basura	Valor	
Producción per cápita de desechos sólidos (kg/hab/día)	10%	> 1.0	1	
		0.91 – 1.0	2	
		0.81 – 0.9	3	
		0.51 – 0.8	4	
		< 0.5	5	

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Para estimar la producción per cápita de los desechos sólidos, se realizó un muestreo de los vehículos que transportan basura hacia los vertederos municipales. Este muestreo se realizó durante una semana, a través de la siguiente relación:

$$P_R = \frac{N_V * N_J * N_J * D_N}{P_T}$$

Donde:

P_R = Producción total de residuos sólidos por día

N_V = Número de vehículos en operación

N_J = Número de viajes por vehículo

C_P = Volumen estimado por vehículo en m^3

D_N = Densidad de los residuos en el vehículo

P_T = Población total por municipio

4.3.4. Ecuación de síntesis para agregar las variables en la estimación del indicador de gestión de residuos (IGR)

Por lo tanto, de acuerdo a los criterios de ponderación, la ecuación de síntesis para estimar el indicador de gestión de residuos es:

$$\text{IGR} = \text{tas (0.50)} + \text{mds (0.40)} + \text{ppds (0.10)}$$

En donde:

IGR = Indicador de Gestión de residuos

W = Peso de cada variable

Tas = Tratamiento de aguas superficiales

Mds = Manejo de desechos sólidos

Ppds = Producción per cápita de desechos sólidos (kg/habitante/día)

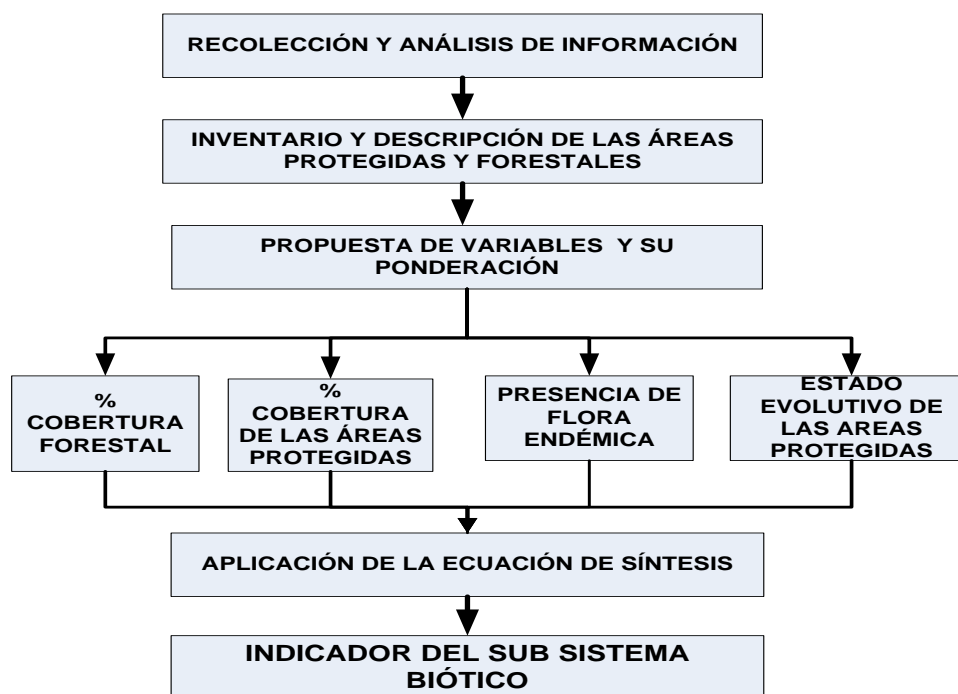
4.3.5. Validación del indicador

No se usaron criterios estadísticos, sino se realizó a partir de metodologías de índole participativa (Delphi), por medio de la cual se seleccionaron y establecieron los criterios de ponderación y el peso relativo de cada una de las variables.

4.4. GENERACIÓN DEL INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO (ISB)

4.4.1. Definición del indicador

La estimación de este indicador se realizó en función al potencial que la cobertura forestal y las áreas protegidas ofertan en bienes y servicios ambientales, así como a la protección y la conservación de la biodiversidad. Para ello se consideraron cinco variables: Cobertura forestal, la extensión de las áreas protegidas reportadas en el SIGAP, la presencia de flora endémica y el estado evolutivo observado en la zona núcleo del área protegida (ver en la **Figura 12**).



Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 12. Esquema metodológico para la generación del indicador del subsistema biótico

4.4.2. Cálculo del indicador

Cobertura Forestal

Para la determinación de la cobertura forestal se procedió a utilizar el shape generado para el año 2010 a escala 1:50000, por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP), la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y la Universidad Rafael Landívar (URL) (Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, 2012). Al shape de municipios de Guatemala, se procedió a realizar un corte de la capa cobertura forestal, por medio de la herramienta de *geoproceso clip*, la cual seleccionó únicamente la cobertura forestal del área de estudio. Seguidamente a través del atributo que contenía la descripción de la cobertura forestal, la cual se dividía en bosque de coníferas, bosque de latifoliadas y bosque mixto, se realizó una reclasificación del *shape*, con el que se obtienen dos tipos o clases que fueron: área con cobertura y área sin cobertura forestal. Al tener reclasificada la cobertura, se procedió a calcular el área forestal por medio de la herramienta Calculate Geometry, obteniéndose así el área en hectáreas (ver hoja metodológica en el **Anexo 4**).

Áreas Protegidas

Este indicador representa la importancia que las áreas protegidas constituyen para la conservación de la biodiversidad, el patrimonio cultural, la investigación científica, recreación, mantenimiento de los recursos naturales, y otros servicios ambientales, y que están protegidas de usos incompatibles.

Para la determinación de las áreas protegidas se procedió a utilizar el shape generado para el año 2010, por el Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP),

y la Universidad Rafael Landívar (URL). Este *shape* se generó a una escala 1:50000, con el sistema de coordenadas GTM. Al *shape* de municipios de Guatemala, se procedió a realizar un corte de la capa de áreas protegidas, por medio de la herramienta de *geoproceso clip*, la cual seleccionó únicamente las áreas protegidas declaradas ante el SIGAP. Seguidamente a través del atributo que contenía la descripción de las áreas protegidas se realizó una reclasificación del *shape* con el que obtuvo una clase que fue el área con cobertura por las áreas protegidas. Al tener reclasificada las áreas protegidas, se procedió a calcular el área por medio de la herramienta Calculate Geometry, obteniéndose así el área en hectáreas (ver hoja metodológica en el **Anexo 5**).

Flora Endémica

Para determinar el número de especies endémicas presentes en las áreas protegidas, se recurrió al informe final sobre “La determinación, caracterización y evaluación del estado actual y usos de las especies endémicas en Guatemala (Veliz Pérez, 2013), en el que se presenta un inventario de las especies endémicas por área protegida (ver la hoja metodológica en el **Anexo 6**).

Estado Evolutivo de las áreas protegidas

El estado evolutivo de las áreas protegidas, se relacionó con la sucesión ecológica (proceso ordenado de auto organización de un ecosistema, con ciertos niveles de homeostasis y homeorresis). Las etapas de la sucesión ecológica se pueden categorizar en:

Etapas iniciales o de constitución (dominadas por especies de las que en el lenguaje ecológico y evolutivo se llaman pioneras, oportunistas, desde el punto

de vista de sus requerimientos de recursos, y con una estrategia reproductiva basada en la producción de muchos descendientes limitadamente viable).

Etapas secundarias: se da en comunidades que han sufrido algún tipo de disturbio (campos de cultivos abandonados, bosques deforestados y bosques incendiados).
Etapas intermedias, o de maduración.

Etapas finales, que concluyen cuando se alcanza el clímax, caracterizada por especies especialistas, en cuanto al uso de recursos, y con baja tasa de reproducción (ver hoja metodológica en el **Anexo 7**).

4.4.3. Pertinencia del indicador

Cobertura forestal

Los bosques cumplen múltiples funciones ecológicas, socioeconómicas y culturales en muchos países. Proporcionan muchos recursos importantes, como los productos de la madera, y cumplen funciones significativas, ya que sirven de lugares de recreo, son hábitat de flora y fauna silvestres, ayudan a conservar el agua y el suelo, y actúan como filtro de contaminantes. Son base de empleo y usos tradicionales, así como de biodiversidad. Existe una preocupación generalizada por las consecuencias que para la salud de los bosques y la biodiversidad natural pueden tener las actividades humanas. En el Programa 21 se menciona específicamente la lucha contra la deforestación para conservar los suelos, el agua, el aire y la diversidad biológica.

Áreas protegidas

El indicador representa la importancia que las áreas protegidas significan para la conservación de la biodiversidad, el patrimonio cultural, la investigación científica, recreación, mantenimiento de los recursos naturales, y otros servicios ambientales, y que están protegidas de usos incompatibles.

Flora endémica

De acuerdo al Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, 2010), Guatemala ha sido identificada como parte de los puntos del planeta más ricos en diversidad biológica y que a la vez se consideran altamente amenazados. Esto lo define como uno de los puntos prioritarios para la conservación de la biodiversidad.

Estado evolutivo del área protegida

Una sucesión ecológica consiste en el proceso de cambio que sufre un ecosistema en el tiempo, como consecuencia de los cambios que se producen tanto en las condiciones del entorno como en las poblaciones que lo integran, dando lugar a un ecosistema cada vez más organizado y complejo. Los ecosistemas con etapas seriales avanzadas, posee condiciones estables y de equilibrio entre sus componentes, lo que garantiza mayor seguridad a la biodiversidad, así como la prestación de servicios ambientales.

4.4.4. Criterio de ponderación de las variables del indicador del subsistema biótico (ISB)

Los criterios de ponderación de las variables del indicador del subsistema biótico se presentan en el **Cuadro 7**.

Cuadro 7. Variables, ponderación, criterios y valor para generar el indicador del subsistema biótico (ISB).

Componente	Ponderación	Unidad de medida	Criterio	Valor
Cobertura forestal	25%	% del área total del municipio	1 – 20 %	1
			21 – 35%	2
			36 – 45 %	3
			46 – 50%	4
			> 50%	5
Cobertura áreas protegidas	35%	% del área total del municipio	1 – 10%	1
			11 – 20%	2
			21 – 30%	3
			31 – 40%	4
			> 40%	5
Flora endémica en el área protegida	25%	No. de especies	<5	1
			6 – 10	2
			11 - 15	3
			16 – 20	4
			> 20	5
Estado evolutivo del área protegida	15%	Etapa serial	Inicio	1
			Media	3
			Clímax	5

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

4.4.5. Ecuación de síntesis para la agregación de variables para generar el indicador del subsistema biótico (ISB)

La ecuación de síntesis para obtener el indicador del subsistema biótico, que permita expresar el valor de cada una de las unidades territoriales, es la siguiente:

$$\text{SB} = (\text{Cf} \cdot 0.25) + (\text{Cap} \cdot 0.35) + (\text{Fe} \cdot 0.25) + (\text{Ee} \cdot 0.15)$$

En donde:

- SB = Indicador del subsistema biótico.
- W = Ponderación de cada variable
- Cf = Criterio de valoración de la cobertura forestal.
- Cap = Criterio de valoración de la cobertura de áreas protegidas.
- Fe = Criterio de valoración de la presencia de flora endémica en las áreas protegidas.
- Ee = Criterio de valoración del estado evolutivo del área protegida.

4.4.6. Validación del indicador

Para la validación de este indicador, no se usaron criterios estadísticos, sino se realizó a partir de metodologías de índole participativa (Delphi), por medio de la cual se seleccionaron y establecieron los criterios de ponderación y el peso relativo de cada una de las variables.

4.5. GENERACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA GUATEMALA (ISAGT)

4.5.1. Definición del índice

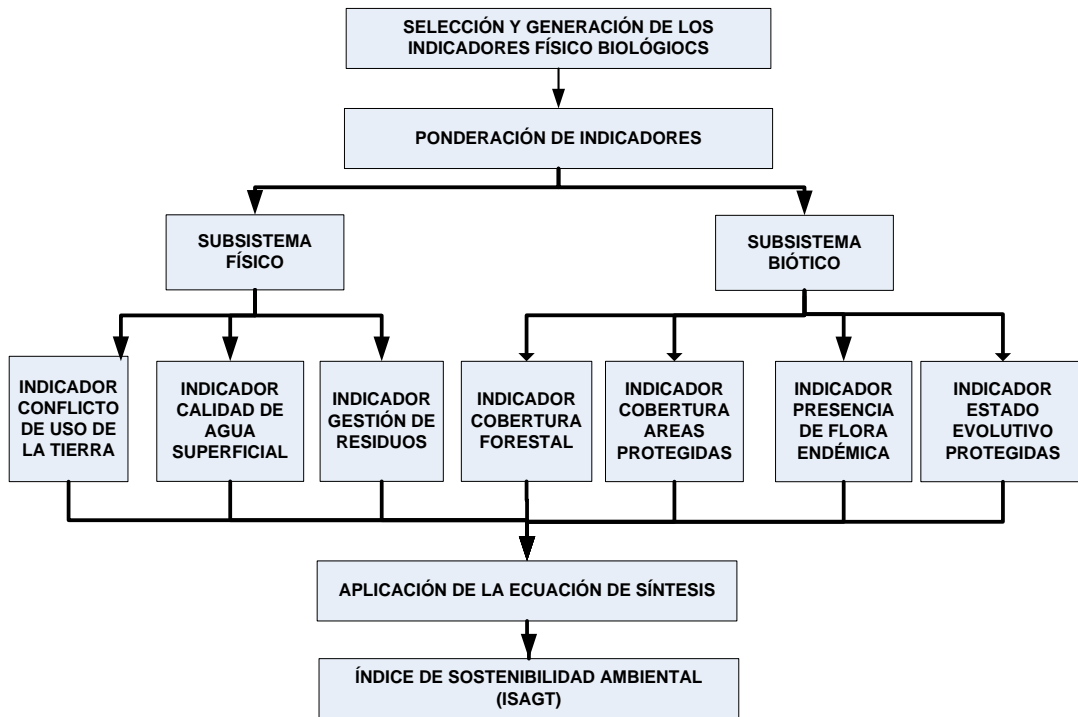
El Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT), permite valorar el estado ambiental a nivel municipal en Guatemala, está constituido por siete indicadores físico biológicos, siendo ellos:

Indicador conflicto de uso de la tierra (ICUT), conformado por las variables conflicto por sobre uso, conflicto por sub uso y sin conflicto de uso del territorio,

Indicador de calidad de agua superficial (ICAS), compuesto por las variables oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, pH, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y sólidos totales.

Indicador de gestión de residuos (IGR) integrado por las variables tratamiento de aguas residuales, disposición y manejo de desechos sólidos y producción per cápita de desechos sólidos.

Indicador cobertura forestal (ICF), indicador cobertura áreas protegidas (ICAP), indicador presencia de flora endémica (IFE) y el indicador estado evolutivo de las áreas protegidas (IEE). El esquema metodológico, se presenta en la **Figura 13**.



Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 13. Esquema metodológico para la generación del índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT) a partir de indicadores físico biológico.

4.5.2. Ponderación de los indicadores físico-biológicos que conforman el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)

La ponderación final asignada por los expertos, para cada uno de los indicadores seleccionados (subsistema físico y subsistema biótico), se presentan en el **Cuadro 8.**

Cuadro 8. Ponderación de cada uno de los subsistemas con sus respectivos indicadores para la generación del índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT).

SUBSISTEMA	INDICADOR AMBIENTAL	PONDERACIÓN
FÍSICO	Conflicto de uso de la tierra	0.14
	Calidad de agua superficial.	0.12
	Gestión de residuos	0.14
BIÓTICO	Cobertura forestal	0.15
	Cobertura áreas protegidas	0.21
	Presencia flora endémica	0.15
	Estado evolutivo de las áreas protegidas	0.09

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

4.5.3. Agregación de los indicadores que constituyen el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)

De acuerdo con Schuschny y Soto (2009), una vez seleccionados los indicadores que constituyen el índice, estos deben agregarse de manera uniforme una vez están definidos los diferentes factores de peso, que dan cuenta de la importancia relativa del indicador en el agregado. Para este caso se utilizó una suma lineal ponderada de los indicadores, el resultado de su aplicación es un número entre 1 y 5, donde 1 representa una estabilidad ambiental muy mala y 5 excelente.

Una vez normalizadas los indicadores y calculados los factores de peso, el índice de sostenibilidad se calcula como un promedio aritmético ponderado:

$$ISAGT_t^j = \sum_{i=1}^n w^i y_t^{ij} = w^1 y_t^{1j} + \dots + w^p y_t^{pj}$$

Donde:

ISAGT: Índice de sostenibilidad ambiental

w: factor de ponderación para el indicador i

y: indicador aleatorio i

n: número de indicadores

La agregación del índice de sostenibilidad ambiental, se realizó a través de la siguiente ecuación de síntesis, la que incluye los indicadores con su respectiva ponderación:

$$\text{ISAGT} = \text{ICUT} \cdot 0.14 + \text{ICAS} \cdot 0.12 + \text{IGR} \cdot 0.14 + \text{ICF} \cdot 0.15 + \text{ICAP} \cdot 0.21 + \text{IPFEAP} \cdot 0.15 + \text{IEVAP} \cdot 0.09$$

En donde:

ISAGT	=	Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala
ICUT	=	Indicador de conflicto de uso del territorio
ICAS	=	Indicador de calidad de agua superficial
IGR	=	Indicador de gestión de residuos
ICF	=	Indicador de cobertura forestal
ICAP	=	Indicador de cobertura de áreas protegidas
IPFEAP	=	Indicador de presencia de flora endémica en áreas protegidas
IEVAP	=	Indicador de estado evolutivo del área protegida

4.5.4. Validación del índice de sostenibilidad ambiental ISAGT

La validación del índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT), se realizó a través del análisis de sensibilidad mediante la estimación de la varianza, previo a ello se normalizaron cada uno de los valores de los indicadores. De acuerdo a Schuschny y Soto (2009) y Stepping (2013) cada término de la ecuación de síntesis del índice de sensibilidad, combina las interacciones entre los diversos factores (indicadores) que se consideran independientes y que combinados en la agregación afectan la varianza de la variable de salida **Y**. Conocida esta varianza total, es posible calcular el índice de sensibilidad para cada factor (indicador del índice de sensibilidad) según la relación:

$$S_{T_1} = V(y) - V_{x_2 x_3} \frac{(E(y|x_2, x_3))}{V(y)} = S_1 + S_{1,2} + S_{1,3} + S_{1,2,3} \quad (1)$$

y análogamente:

$$S_{T_2} = S_2 + S_{1,2} + S_{2,3} + S_{1,2,3} \quad (2)$$

$$S_{T_3} = S_3 + S_{1,3} + S_{2,3} + S_{1,2,3} \quad (3)$$

$$S_{T_4} = S_4 + S_{1,4} + S_{2,4} + S_{1,2,3,4} \quad (4)$$

Y así sucesivamente hasta S_{T_6}

Por lo tanto, la varianza condicional $V_{x_2 x_3} (E_{x_1}(Y|x_2, x_3))$, puede escribirse en términos genéricos como: $V_{x-k} (E_{x_k}(Y|x-k))$ y expresa la contribución total a la varianza de Y debido a los factores distintos de X_k , por lo que $V(Y) - V_{x-k} (E_{x_k}(Y|x-k))$ involucra la variabilidad (a primer orden) debida al factor X_k . Dada la ecuación (2), el índice de sensibilidad puede escribirse como:

$$S_{T_k} = \frac{V(y) - V_{x-k} (E_{x_k}(y|x-k))}{V(y)} = \frac{E_{x-k} (V_{xk} (y|x-k))}{V(y)} \quad (4)$$

Para este caso, se realizaron las combinaciones (varianzas combinadas) para calcular $S_{T_1}, S_{T_2}, S_{T_3}, \dots, S_{T_k}$, como las interacciones entre factores (los 7 indicadores que constituyen el ISAGT), consideradas como independientes, las que se presentan en el cuadro siguiente (ver cuadro 9):

Cuadro 9. Varianzas combinadas entre factores (indicadores del ISAGT), considerados como independientes.

Varianza Combinada	s1	s12	s123	s1234	s12345	s123456	s1234567	s12345678
Valor	0	0.00045	0.00323	0.00217	0.00174	0.00146	0.00139	0.00208
Varianza Combinada	s2	s23	s234	s2345	s23456	s234567	s2345678	
Valor	0	0.00634	0.00324	0.00219	0.00175	0.00164	0.00235	
Varianza Combinada	s3	s34	s345	s3456	s34567	s345678		
Valor	0	0.00249	0.00133	0.00132	0.0015	0.00211		
Varianza Combinada	s4	s45	s456	s4567	s45678			
Valor	0	0.0002	0.000255	0.00045	0.00194			
Varianza Combinada	s5	s56	s567					
Valor	0	0.0005	0.000654					
Varianza Combinada	s6	s67	s678					
Valor	0	0.0002	0.00376					

Fuente: elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

El cuadro anterior, obtenido mediante el modelo:

$$V(y) = \sum_{k=1}^n V_k + \sum_{k=1}^n V_k \sum_{h>k}^n V_{kh} + \underbrace{\sum_{k=1}^n V_k \sum_{h>k}^n V_{kh} \sum_{\substack{l>h \\ h>k}}^n V_{khl}}_{V_{1234567}}$$

En donde $V(y)$ representa la varianza condicional de y que para este caso se consideraron 7 indicadores (factores), bajo el supuesto que actuaron en forma independiente entre sí, agregándose como contribución a la variabilidad de la varianza resultante.

De acuerdo a (Schuschny y Soto, 2009), toda diferencia sustantiva entre S_{Tk} y el índice de sensibilidad de primer orden S_k (considerado así por su ranking correspondiente), indica que la interacción entre factores es relevante. Para este caso puede apreciarse en el **Cuadro 10**, que efectivamente existen diferencias sustantiva entre S_{Tk} y el índice de primer orden S_k , por lo que puede concluirse que todos los indicadores que conforman el índice de sensibilidad contribuyen de manera relevante en la estimación del valor final, ya que no existe independencia en al menos uno de los indicadores que conforman el índice de sensibilidad.

Cuadro 10. Análisis de Sensibilidad ordenados por rankings

S_{Tk}	S_k	Diferencia ente S_{Tk} y S_k
ST2=	0.01751	
ST1=	0.01252	0.00499
ST3=	0.00875	0.00876
ST6=	0.00394	0.01357
ST4=	0.00285	0.01467
ST5=	0.00115	0.01636

Fuente: elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

En donde los índices de sensibilidad para cada valor resultante de la varianza total fueron obtenidos mediante la suma aritmética de todas las posibles combinaciones de varianzas agregadas que se dieron para cada caso.

Los resultados que se obtienen en el análisis de sensibilidad, para cada uno de los indicadores que conforman el índice, determinan que la priorización de variables, con su respectiva ponderación, realizada a través de métodos participativos, redujeron significativamente las fuentes de incertidumbre.

4.5.5. Interpretación del Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT)

Para la interpretación del Índice de Sostenibilidad Ambiental, se hace a través de una escala tipo Likert (García Suárez, 2013), el cual adopta para condiciones óptimas un valor máximo de cinco (5), el cual disminuye hasta uno (1) en función de la pérdida de calidad de los indicadores físico biológicos estimados. Así mismo para traducir los valores numéricos de la escala Likert y poder representarlos en mapas, se utilizan una escala colorimétrica con los colores representativos del semáforo (ver **Cuadro 11**).

Cuadro 11. Valoración del Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala (ISAGT).

Sostenibilidad Ambiental	Color Interpretativo	Ponderación Escala Likert
Muy mala	Afectación	1
Mala	Alarma	2
Medio	Preparación	3
Buena	Prevención	4
Excelente	Aviso	5

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

V. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ISAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS

Es impostergable la necesidad de mejorar la calidad de vida de los guatemaltecos, pero es necesario respetar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan y con ello tomar el camino correcto hacia el desarrollo sostenible del país. Además, conscientes de la problemática ambiental, es de suma importancia estudiar el estado del ambiente y, sobre todo, determinar las causas que lo afectan, a fin de proponer estrategias que frenen y reviertan la degradación de los sistemas naturales, con un enfoque local.

En este sentido, a través de la estimación del índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT), se pueden encontrar diferentes niveles de información, que permiten promover e impulsar procesos y estrategias de planificación, para configurar en el corto, mediano y largo plazo, una ordenación del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y restricciones del mismo. La información proporcionada, va de la general que provee el índice y sus indicadores, a la particular que facilitan las variables que constituyen a los indicadores; es decir que, cuando el valor del índice se estime bajo para un municipio en estudio, puede determinarse cuál o cuáles de los indicadores influyen para esta ponderación; así mismo, si uno de los indicadores que conforman el índice tiene una ponderación baja, puede identificarse también cuál o cuáles de las variables que lo conforman influyen en dicha valoración.

Los resultados de la aplicación de la metodología generada, para los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, conformada por San Mateo, La Esperanza, Olintepeque, Quetzaltenango, Salcajá, Zunil, Almolonga y Cantel, se presentan a continuación.

5.1. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL (ISAGT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS

Al desarrollar el modelo del Índice de Calidad Ambiental (ISAGT), puede apreciarse en el **Cuadro 12** y en la **Figura 14**, que el municipio con el índice más bajo es el municipio de Almolonga, con un valor de uno (lo que le da una ponderación de muy mal estado del ambiente), estos indicadores son: conflicto de uso del territorio, gestión de residuos, cobertura forestal, cobertura de áreas protegidas, presencia de flora endémica y estado evolutivo del área protegida, los que inciden negativamente en esta valoración, ya que cada uno de ellos tiene una ponderación de uno.

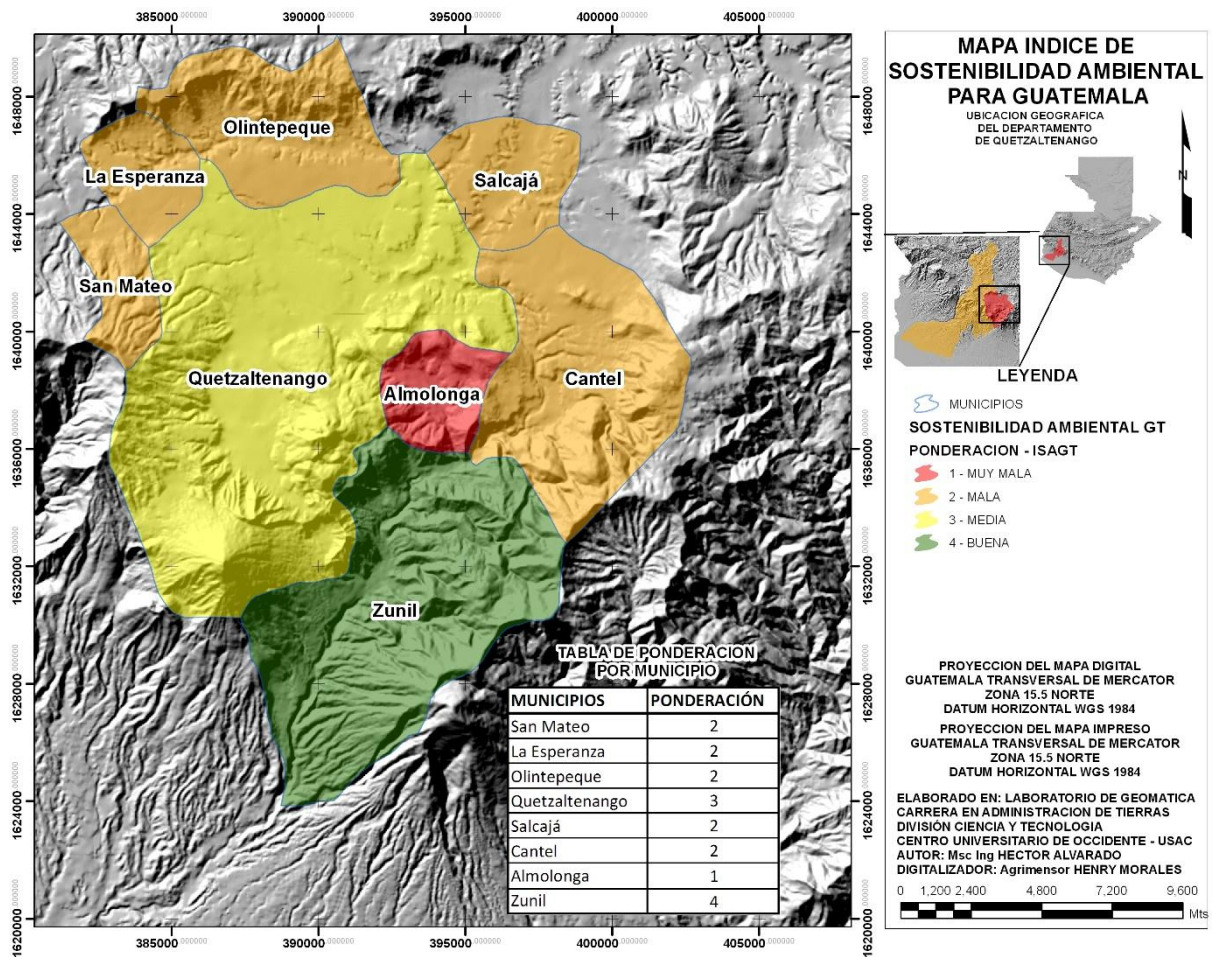
Cuadro 12. Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT) de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

SUBSISTEMA	FÍSICO			BIÓTICO				ISAGT
	ICUT	ICAS	IGR	ICF	ICAP	IPFEAP	IEVAP	
MUNICIPIOS/PONDERACION	14	12	14	15	21	15	9	100
San Mateo	2	2	1	3	2	4	3	2
La Esperanza	2	4	1	1	1	1	1	2
Olintepeque	2	3	1	2	1	1	1	2
Quetzaltenango	2	2	2	2	3	5	4	3
Salcajá	5	3	1	1	1	1	1	2
Cantel	2	3	1	3	1	1	1	2
Almolonga	1	3	1	2	1	1	1	1
Zunil	4	4	1	5	5	5	4	4

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Por otra parte, el municipio de Zunil, es el que presenta el ISAGT más alto con una ponderación de cuatro (buen estado del ambiente), valor que es influenciado especialmente por el subsistema biótico (con una ponderación de cuatro en los indicadores de cobertura forestal, cobertura de las áreas protegidas, presencia de flora endémica, y con una ponderación de tres en el indicador de estado evolutivo del área protegida). Únicamente aparece con una ponderación baja (1) la gestión de residuos.

Luego aparece el municipio de Quetzaltenango con una ponderación de dos (valor bajo para el estado del ambiente), influenciado por los valores de los indicadores físicos (conflicto de uso del territorio, calidad de agua superficial y gestión de residuos). Los otros cinco municipios (San Mateo, La Esperanza, Olinstepeque, Salcajá y Cantel) presentan una ponderación del ISAGT de dos cada uno (valor malo del ambiente), afectado por la mala calificación de diversos indicadores.



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 14. Mapa del índice de calidad ambiental para Guatemala (ICAGT) de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos

5.2. INDICADOR CONFLICTO DE USO DEL TERRITORIO (ICUT) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS

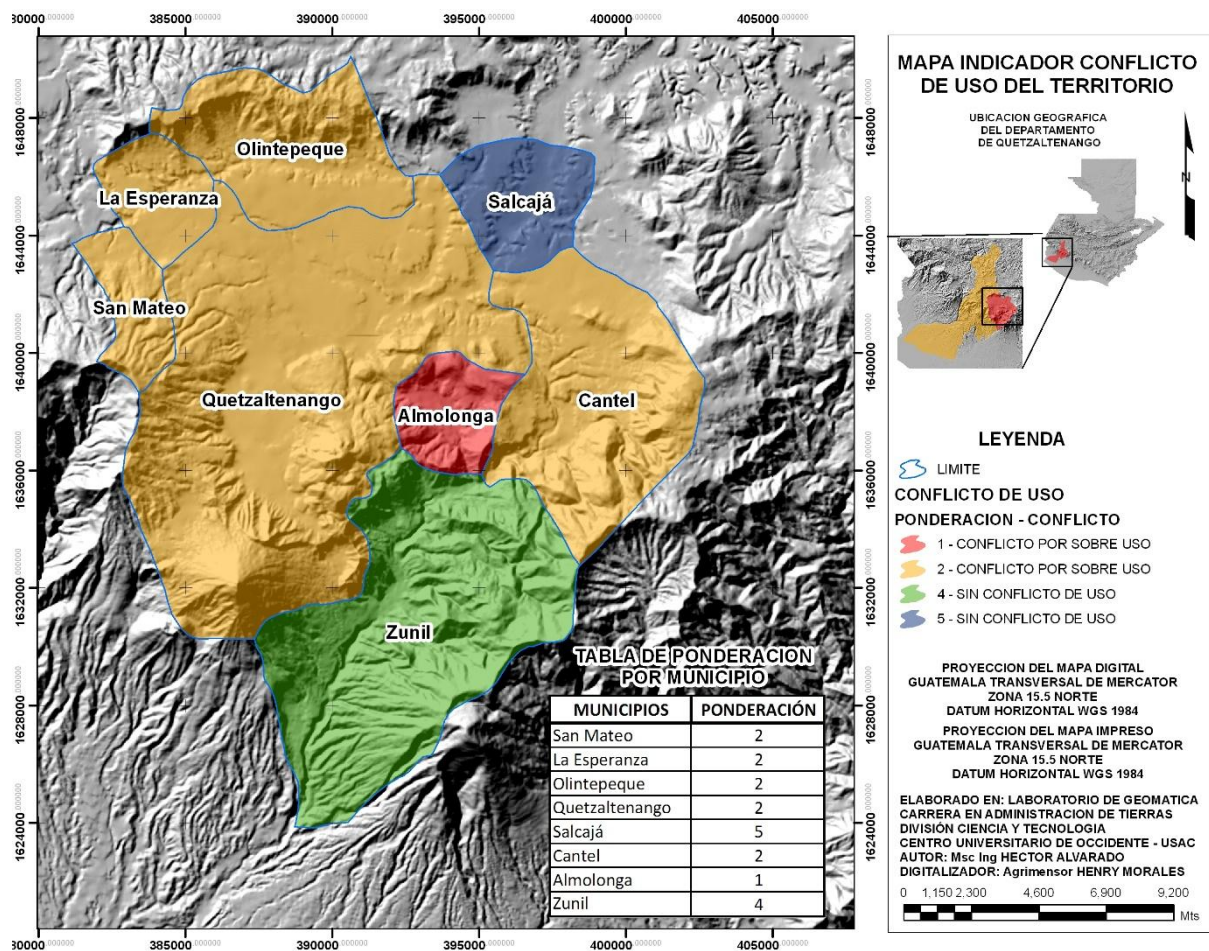
Para este indicador, se puede apreciar que el municipio de Salcajá posee el 90% de su territorio sin conflicto de uso y el otro 10% con sobreuso, lo que le da una ponderación de cinco (uso apropiado del territorio excelente). Lo anterior es un indicativo de que el uso actual corresponde con su capacidad de uso, es decir, que el uso dominante guarda correspondencia con la vocación de uso compatible, por lo que el uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural.

El municipio de Zunil presenta un 74% de su territorio sin conflicto de uso, 20% en sub uso y solo el 6% en sobre uso, lo que lo hace acreedor de una ponderación de cuatro (uso apropiado del territorio con el calificativo de bueno). Este porcentaje del territorio que presenta un uso adecuado, coincide especialmente con las áreas que han sido declaradas protegidas por el SIGAP (volcán Santo Tomás y volcán de Zunil, y el parque regional municipal); mientras que el sobre uso se encuentra utilizado por agricultura en suelos de vocación forestal (Ver **cuadro 13** y **Figura 15**).

Cuadro 13. Indicador de conflicto de uso del Territorio (ICUT) de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

CONFLICTO DE USO		SOBRE USO		SUBUSO	SIN CONFLICTO		ICUT
CRITERIO		75% a 100% del territorio bajo esta categoría	30% a 74% del territorio bajo esta categoría	30% a 100% del territorio bajo esta categoría	30% a 74% del territorio bajo esta categoría	75% a 100% del territorio bajo esta categoría	
PONDERACIÓN		1	2	3	4	5	
MUNICIPIO	�rea (Km ²)	Porcentaje del �rea					
San Mateo	10.82		71	17	12		2
La Esperanza	12.25		67	12	21		2
Olintepeque	32.18		68	23	9		2
Quetzaltenango	126.84		59	15	26		2
Salcajá	16.88			10		90	5
Cantel	49.73		57	22	21		2
Almolonga	12.25	82		8	10		1
Zunil	77.46		6	20	74		4

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 15. Mapa del indicador del conflicto de uso de la tierra de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos.

Los otros municipios (San Mateo, La Esperanza, Olinstepeque, Quetzaltenango y Cantel), presentan una ponderación de dos (uso del territorio en malas condiciones) ya que ellos poseen entre el 57% y el 71% de su territorio en conflicto por sobre uso, es decir, que el uso actual equivale a la exclusión de la capacidad de acogida o a una actividad inaceptable bajo cualquier circunstancia. Esta calificación es dada a las tierras en donde el uso actual dominante es más intenso, en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas. Los cambios de uso se han dado principalmente de

suelos con alta vocación agrícola y suelos con vocación forestal con alto potencial de recarga hídrica a usos urbanísticos.

Almolonga es el municipio que presenta la ponderación más baja para este indicador (calificativo de muy malo del uso del territorio), ya que el 82% de su territorio se encuentra en la categoría de sobre uso. Esto es debido a que los suelos con vocación forestal han sido utilizados especialmente para usos agrícolas y también para usos urbanísticos.

Alvarado (2010), indica que de acuerdo a la capacidad de uso del suelo, en la mancomunidad Metrópoli de Los Altos, puede considerarse que casi el 50% del área de estudio, el uso potencial del suelo es para actividades agrícolas sin limitaciones o con algunas prácticas de conservación de suelos; el 35% para uso forestal de protección o de producción; por lo que de acuerdo a esta información solo el 15% de esta área tiene potencial para otros usos, en los que puede incluirse áreas urbanas, sin embargo, al contrastar la capacidad de uso del suelo, con el uso actual; podemos apreciar que existe una conflictividad (intensidad) de uso muy distante a esa capacidad, especialmente en los municipios de Almolonga, Quetzaltenango, San Mateo, La Esperanza, Cantel y Olinstepeque, como lo demuestra este estudio de caso.

5.3. INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES (ICAS) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS

En la **Figura 16**, se presentan los resultados de la calidad de agua de fuentes superficiales de los municipios en estudio; en ellos se puede apreciar que los municipios de la Esperanza y Zunil, son los que presentan la mejor calidad, con una ponderación de cuatro (buena calidad de agua), mientras que los municipios de Olintepeque, Salcajá, Cantel y Almolonga, presentan una ponderación de tres (que es un valor *medio*) y para los municipios de San Mateo y Quetzaltenango, la ponderación es de dos, que le da el calificativo de mala.

Para el caso de los municipios de San Mateo y Quetzaltenango, las variables que más influyen en los resultados de este indicador son:

- Presencia de coliformes totales (194378 y 403390 colonias/100ml respectivamente), lo que denota una fuerte contaminación de las aguas residuales.
- Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5) con 40 y 72 mg/l respectivamente, esta prueba es usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas, por lo que permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas.
- Los Nitratos que están asociados a las fuentes de contaminaciones por actividades agrícolas. Los fosfatos con 1.57 y 0.84 mg/l respectivamente, que es una medida de todas las formas de fósforo existentes, ya sean disueltas o en

partículas que incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico (ver **Cuadro 14**).

Cuadro 14. Valor de las variables coliformes totales, pH, DBO5, Nitratos y fosfatos, del indicador de calidad de agua superficial (ICAS) de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

Variable	Coliformes totales			pH			DBO5			Nitratos			Fosfatos		
	colonias/100 ml			unidades			mg/l			mg/l			mg/l		
U. de medida	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total
MUNICIPIOS	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total
San Mateo	3	0.15	0.45	92	0.12	11.04	2	0.1	0.2	82	0.1	8.2	32	0.1	3.2
La Esperanza	29	0.15	4.35	92	0.12	11.04	72	0.1	7.2	93	0.1	9.3	86	0.1	8.6
Olintepeque	40	0.15	6	85	0.12	10.2	20	0.1	2.0	80	0.1	8	50	0.1	5
Quetzaltenango	3	0.15	0.45	95	0.12	11.4	2	0.1	0.2	92	0.1	9.2	55	0.1	5.5
Salcajá	3	0.15	0.45	87	0.12	10.44	2	0.1	0.2	95	0.1	9.5	75	0.1	7.5
Cantel	9	0.15	1.35	97	0.12	11.64	65	0.1	6.5	99	0.1	9.9	71	0.1	7.1
Almolonga	15	0.15	2.25	87	0.12	10.44	65	0.1	6.5	95	0.1	9.5	60	0.1	6
Zunil	83	0.15	12.45	92	0.12	11.04	60	0.1	6.0	98	0.1	9.8	99	0.1	9.9

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

También influyen en la mala calidad del agua, para el caso de los municipios de San Mateo y Quetzaltenango, las variables: turbidez con 24.2 y 12.6 FTU respectivamente (FTU es la Unidad de Turbidez de la Formazina), la cual indica la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. Sólidos disueltos con 321.8 y 159.8 mg/l respectivamente, el cual es un indicativo de la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Oxígeno disuelto de 65.5 y 43.42 % de saturación respectivamente, El oxígeno disuelto es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables (ver **Cuadro 15**).

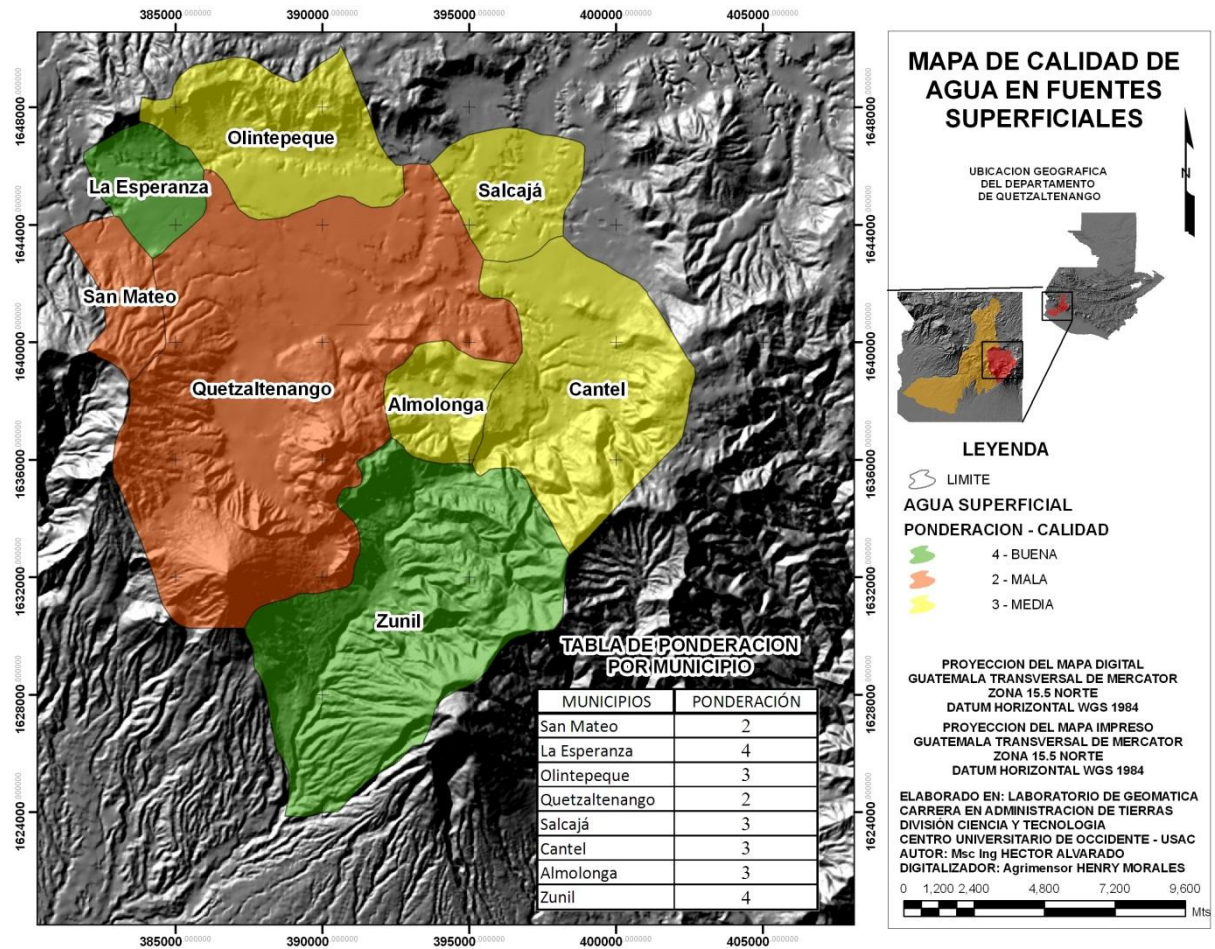
Cuadro 15. Valor de las variables temperatura, turbidez, sólidos disueltos y oxígeno disuelto del indicador de calidad de agua superficial (ICAS) de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

Variable	Temperatura			Turbidez			Sólidos disueltos totales			Oxígeno disuelto		
U. de medida	°C			FTU (Unidad de Turbidez de la Formazina)			mg/l			% de saturación		
MUNICIPIOS	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total	q1	W1	Total
San Mateo	9	0.1	0.9	60	0.08	4.80	60	0.1	4.80	67	0.17	11.4
La Esperanza	9	0.1	0.9	98	0.08	7.84	88	0.1	7.04	85	0.17	14.5
Olintepeque	9	0.1	0.9	70	0.08	5.6	68	0.1	5.44	65	0.17	11.1
Quetzaltenango	9	0.1	0.9	75	0.08	6.00	80	0.1	6.40	33	0.17	5.61
Salcajá	9	0.1	0.9	85	0.08	6.8	90	0.1	7.20	48	0.17	8.16
Cantel	9	0.1	0.9	98	0.08	7.84	72	0.1	5.76	87	0.17	14.8
Almolonga	9	0.1	0.9	98	0.08	7.84	95	0.1	7.60	92	0.17	15.6
Zunil	9	0.1	0.9	99	0.08	7.92	88	0.1	7.04	97	0.17	16.5

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Los resultados del indicador calidad de agua de fuentes superficiales analizado, es de gran utilidad como diagnóstico del estado actual de este recurso, con la finalidad de que dicha información sirva de base para inducir a la gestión integrada del recurso hídrico, en el área de estudio.

Para el caso de la gestión de la oferta, debe considerarse el manejo integrado de cuencas, ya que de él depende el aumento de la cantidad y calidad de agua. Para el caso de la gestión de la demanda, debe reflexionarse sobre el aumento en la eficiencia del uso, la reducción de la contaminación y el mejoramiento de la calidad del agua de retorno. Para este último caso, los valores de las muestras de agua analizados, presentan valores alterados en casi todos los parámetros, sobre todo en el análisis microbiológico, ya que hay valores muy altos en coliformes totales, lo que demuestra una ineficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 16. Mapa del indicador de calidad de agua superficial de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos.

5.4. INDICADOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS (IGR) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS

El criterio para la estimación de este indicador, se hizo en función del nivel de eficiencia en el manejo y disposición de los desechos sólidos, la producción per cápita de basura y el nivel de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales a nivel municipal (ver **Cuadro 16**)

Como puede apreciarse en este cuadro, ninguno de los municipios en estudio, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas superficiales por lo que, de acuerdo al criterio de ponderación, todos los municipios presentan un valor de uno. Como se mencionó en el indicador de la calidad de agua, la presencia de coliformes totales, es un indicativo de la contaminación de las fuentes superficiales por aguas residuales.

Para el caso de la disposición y manejo de desechos sólidos, ninguno de los municipios cuenta con un reglamento de manejo de desechos sólidos y, por consiguiente, tampoco poseen un sistema eficiente de disposición y manejo de los mismos. Todos los municipios en estudio, cuentan únicamente con un servicio de recolección y disposición de basuras al aire libre, sin ningún tipo de tratamiento y reciclado. Debido a estas características, la ponderación que reciben para esta variable es de dos, con excepción del municipio de Quetzaltenango que presenta una ponderación de tres por el tren de aseo que posee.

Para la variable producción per cápita de desechos sólidos en kg/hab/día, todos los municipios están por arriba de 1 kg. Lo anterior indica que, es una producción muy alta y que ningún municipio implementa prácticas para la disminución en la

producción de desechos, tales como la reducción, la reutilización y el reciclado de los mismos.

Cuadro 16. Criterios y ponderación para la valoración del indicador de gestión de residuos, de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

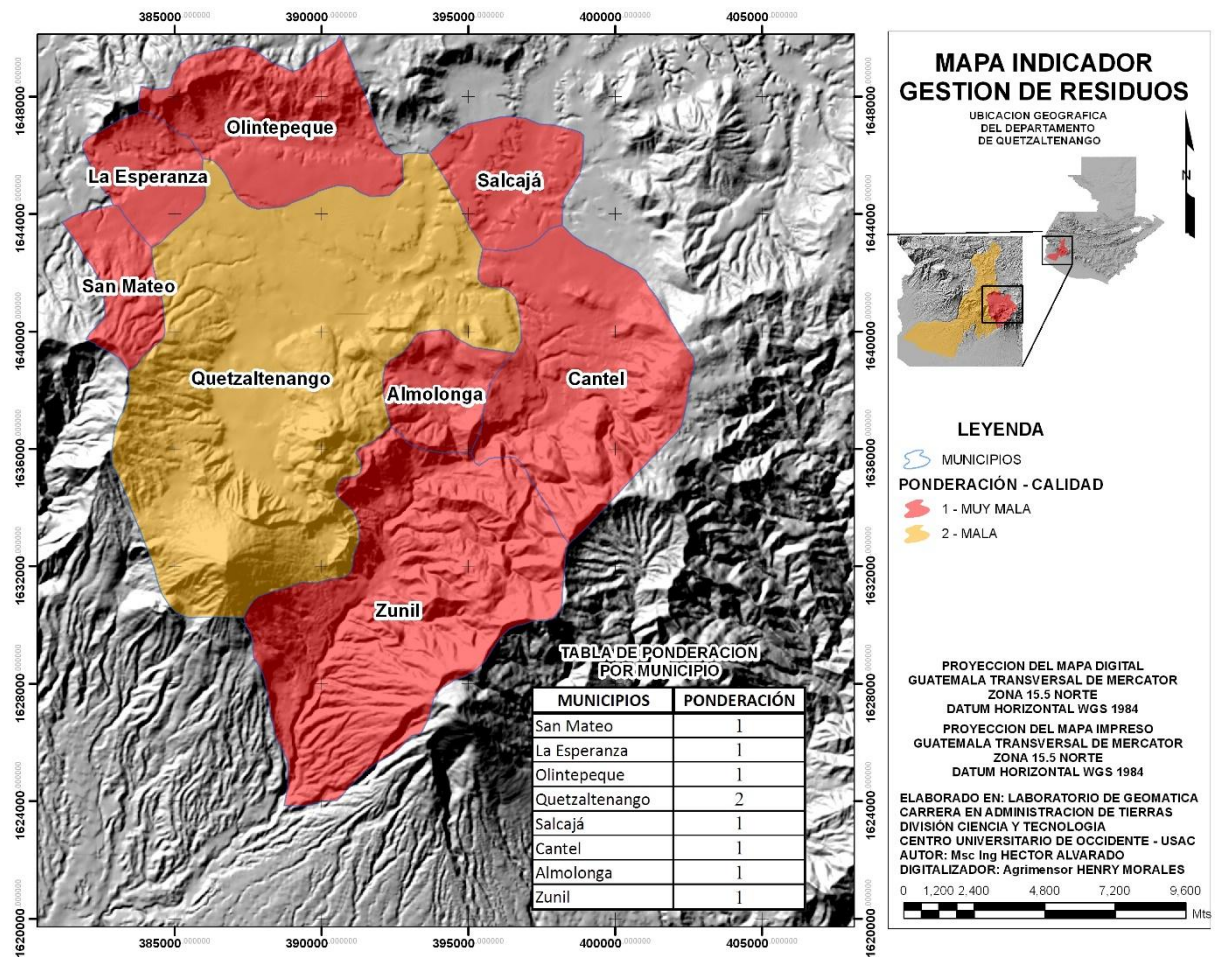
Variable/Peso	Tratamiento Aguas Superficiales (50%)					Disposición y manejo de desechos sólidos (40%)					Producción per cápita de desechos sólidos (kg/hab/día) (10%)					
	Criterio	Sin tratamiento	Tratamiento primario (fosa séptica)	Tanque Imhof	Pre tratamiento + atrapa grasas + Tanque Imhof	Pre tratamiento + atrapa grasas + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida	Basureros al aire libre (basureros clandestinos)	Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre	Sistema de recolección y relleno sanitario	Sistema de recolección + clasificación + relleno sanitario	Sistema de recolección + clasificación + compostaje + relleno sanitario + Sistema de tratamiento de lixiviados	> 1.0	0.91 – 1.0	0.81 – 0.9	0.51 – 0.8	< 0.5
MUNICIPIO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	5
San Mateo	1						2				1					1
La Esperanza	1						2				1					1
Olintepeque	1						2				1					1
Quetzaltenango	1							3			1					2
Salcajá	1						2				1					1
Cantel	1						2				1					1
Almolonga	1						2				1					1
Zunil	1						2				1					1

Fuente: elaboración propia, 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis.

Se puede concluir que el sistema de alcantarillado de los municipios en estudio, es de tipo combinado, es decir que, recoge aguas de lluvia y aguas servidas en una misma red de tuberías. Para el caso de la Ciudad de Quetzaltenango, en los nuevos desarrollos urbanísticos y comerciales se ha implementado incipientemente sistemas separados. El sistema de alcantarillado vierte sus aguas, en su mayor parte no tratadas (>90%) al río Seco, el que a su vez desemboca en el río Xequijel y finalmente en el río Samalá.

Para el caso de la disposición y manejo de desechos sólidos, se puede apreciar que la Ciudad de Quetzaltenango, cuando los camiones que transportan la basura llegan al sitio de disposición final, un grupo de personas se encargan de separar y de recuperar materiales susceptibles de valorización para su venta a compradores que se ubican dentro del sitio, y que los transportan a destinos diversos, lo cual no es una actividad propia del manejo municipal. En el botadero se reciben residuos urbanos, domiciliarios, comerciales y de mercados, pero también se reciben desechos hospitalarios, sin ninguna clasificación previa. Los botaderos de basura no llenan los requerimientos necesarios para no afectar el ambiente y con ello poner en peligro la salud de la población.

De acuerdo a los resultados de este indicador, en la **Figura 17**, se puede apreciar que, todos los municipios en estudio, presentan una ponderación muy mala para el mismo y Quetzaltenango recibe una ponderación de dos.



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 17. Mapa del indicador de gestión de residuos de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos.

5.5. INDICADOR DEL SUBSISTEMA BIÓTICO (ISB) DE LOS MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA MANCOMUNIDAD METRÓPOLI DE LOS ALTOS.

La estimación de este indicador se realizó en función a los siguientes criterios: la cobertura forestal y la oferta de bienes y servicios ambientales, la protección y la conservación de la biodiversidad que ofrecen las áreas protegidas reportadas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) y el aporte de éstas a la calidad ambiental de un territorio. Para ello se consideraron cinco variables: Cobertura forestal (en porcentaje, en relación al área total del municipio); la extensión de las áreas protegidas (en porcentaje, en relación al área total del municipio); presencia de flora endémica y el estado evolutivo del área protegida (ver **Cuadro 17** y **Figura 18**).

5.5.1. Cobertura forestal

La revisión del Mapa de Cobertura Forestal de la República de Guatemala para el año 2006 (Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, 2012), reportó 3,868,708 hectáreas de bosque, que corresponde aproximadamente a un 36% de la superficie del país, mientras que para el año 2010 se estimó en 3,722,595 hectáreas, lo cual equivale aproximadamente a un 34% del territorio Nacional, es decir una deforestación del 3.78% en solo 4 años. Para el caso del área de estudio, la pérdida de bosque para el mismo período fue de 2.75%.

En el **Cuadro 17** se puede apreciar que el municipio de Zunil, en el año 2015, es el que presenta el porcentaje de cobertura forestal más alta con el 50% de su territorio (4,443.92 ha), en comparación con los otros municipios estudiados. De acuerdo a

los datos presentados por INAB (Instituto Nacional de Bosques, et al., 2012) Zunil durante el período del 2010 al 2015, obtuvo una ganancia neta de masa forestal de 9 ha.

Cantel con 40% y San Mateo con 36% son los municipios con mayor cobertura forestal, después de Zunil. Aunque de acuerdo a lo reportado por INAB (INAB et al., 2012), en el año 2010 y el análisis realizado con este estudio en el año 2015, San Mateo fue el municipio que tuvo la mayor tasa de deforestación, equivalente a 24 ha en dicho período.

El municipio de la Esperanza posee 133.45 ha de cobertura forestal, que representa el 11% de su territorio y Salcajá, es el municipio con la menor cobertura forestal, con solo el 4.8% de su territorio, equivalente a 8.1 ha.

5.5.2. Áreas Protegidas

Las áreas protegidas son, de acuerdo al Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP-, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéricos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores. De tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de mantener opciones de desarrollo sostenible, son vitales.

Al analizar el indicador de áreas protegidas en el **cuadro 17**, se puede evidenciar que el municipio de Zunil es el que posee en su territorio el mayor porcentaje

cubierto por áreas protegidas declaradas en el SIGAP con el 41%. Aquí se encuentran los Volcanes Santo Tomás y Zunil en la categoría de zona de veda definitiva y el parque regional municipal. En Quetzaltenango con el 27% de cobertura, se encuentra el parque nacional El Baúl y los volcanes Cerro Quemado, Santa María, Santiaguito y Siete Orejas, como zonas de veda definitiva. San Mateo que tiene un 11% de su cobertura, que corresponde a la falda norte del volcán Siete Orejas.

Cuadro 17. Criterios y ponderación para la valoración del indicador del subsistema biótico, de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos.

Variable	Cobertura forestal en % total del área del municipio (25%)					Cobertura áreas protegidas % del área total del municipio (35%)					Flora endémica en el área protegida No. de especies (25%)					Estado evolutivo del área protegida; etapa serial (15%)					ISB
	1 – 20 %	21 – 35%	36 – 45 %	46 – 50%	> 50%	0 – 10%	11 – 20%	21 – 30%	31 – 40%	> 40%	< 5	6 a 10	11 a 15	15 a 20	> 20	sin área	baja	Media	Media alta	Climax	
MUNICIPIO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
San Mateo			36				11							18				3			3
La Esperanza	11					0					0					0					1
Olintepeque		22														0					1
Quetzaltenango		24						27							26				4		3
Salcajá	5					0					0					0					1
Cantel			40			1					0					0					2
Almolonga		33				0					0					0					1
Zunil					57					41					26				4		5

Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

5.5.3. Biodiversidad

De acuerdo al Análisis de la biodiversidad en Guatemala, realizado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, 2010), Guatemala ha sido identificado como parte de los puntos del planeta más ricos en diversidad biológica y que a la vez se consideran altamente amenazados. Una especie endémica es aquella que se distribuye en un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en otras partes del mundo.

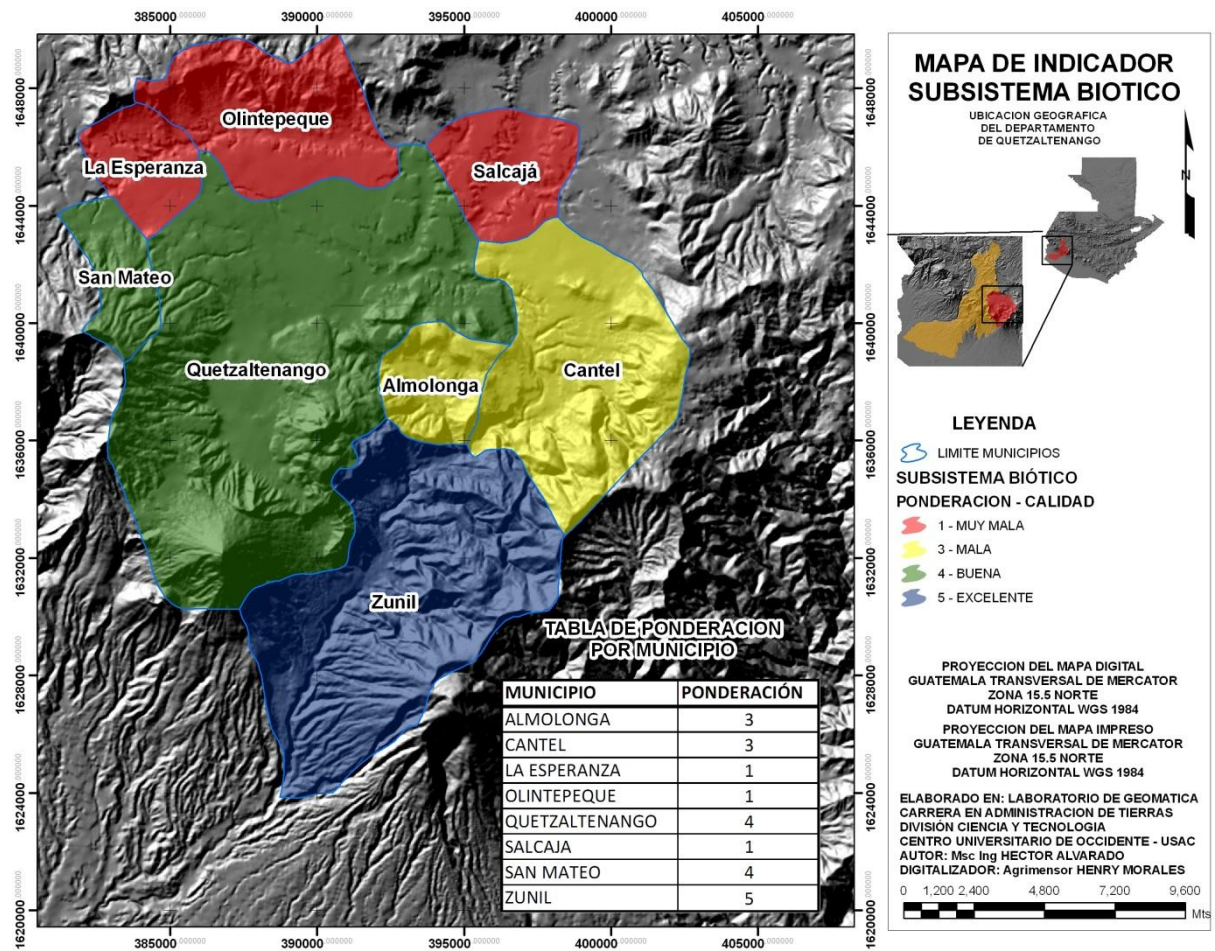
Se puede mencionar que el municipio de Zunil, es el que presenta la máxima valoración para este indicador (con una ponderación de cinco, catalogado como excelente).

Esta apreciación se debe a que el 57% de su territorio posee cobertura forestal y que en su jurisdicción se encuentran tres áreas protegidas declaradas por el SIGAP, como lo son: volcán Santo Tomás y volcán de Zunil catalogados como zona de veda definitiva (según Decreto Legislativo 4-89 del 21 de junio de 1956), así el parque regional municipal de Zunil (Resolución SE-CONAP 17-96). Estas tres áreas protegidas cubren el 41% del municipio. En estas áreas se reportan más de 20 especies endémicas (aproximadamente 74 identificadas, pertenecientes a 27 familias), tales como: 27 especies de la familia Orchidaceae, 10 especies de la familia Bromeliaceae, 4 especies de la familia Fagaceae, 2 especies de la familia Araceae. Algunas especies emblemáticas son: *Abies guatemalensis*, *Calamagrostis guatemalensis*, *Chamaedorea pachecoana*, *Chamaedorea rojaziana*, *Cyclanthera steyermarkii*, *Disocactus biformis*, *Disocactus eichlamii*, *Disocactus quetzaltecus*, *Echeveria maxonii*, *Hoffmania vulcanicola*, *Juglans steyermarkii*, *Justicia williamsii*, *Lepanthes denticulata*, *Palumbina candida*, *Poa tacanae*, *Poikilocanthus skutchii*, *Psacalium pinetorum*, *Rojasianthe superba*, *Romanschulzia guatemalensis*, *Rhynchostele oscarii*, *Rhynchostele rossii*, *Rossioglossum grande*, *Salvia coriana*,

Sechium compositum, *Stanmarkia spectabilis*, *Stenostephanus azureus*, *Tecunumania quetzalteca* y *Xanthosoma pedatum* (Veliz Pérez, 2013. p. 502 – 506)

5.5.4. Estado evolutivo de las áreas protegidas

En cuanto al estado evolutivo del área protegida, se pueden identificar etapas clímax en las zonas núcleo, tal es el caso del macizo Zunil-Santo Tomás. Sin embargo, tanto las partes altas como las bajas de dicho macizo están ampliamente modificadas por el hombre y tienden a ser dominadas por especies invasoras como *Alnus sp.*, *Quercus sp.* y *Pinus sp.* La mayor parte de la cumbre del Zunil está cultivada, quemada o empieza a ser recolonizada por zacatón. Algunos pinabetes y cipreses crecen dispersos a lo largo de la cima. Al considerar estos aspectos se considera que, de manera general, el estado evolutivo es media alta.



Fuente: Elaboración propia 2015, a partir de los resultados del trabajo de tesis

Figura 18. Mapa del indicador del subsistema bióticos de los municipios conurbados de la Mancomunidad metrópoli de Los Altos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- a. Se generó el Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT), el cual permite comparar el estado del ambiente a nivel municipal, integrado a partir de ocho indicadores (tres del subsistema físico y cinco del sub sistema biológico), los cuales agrupan un total de 19 variables:
- Indicador de conflictividad de uso del territorio, conformado por las variables: sobre uso, sub uso y uso adecuado del territorio.
 - Indicador de calidad del agua superficial, el cual utilizó la metodología propuesta por Brown R. , McClelland, Deininger, y Tozer (1970), que agrupa las variables: coliformes totales, pH, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto.
 - Indicador de Gestión de residuos, con tres variables: tratamiento de aguas superficiales, disposición y manejo de desechos sólidos y producción per cápita de desechos sólidos.
 - Indicador del subsistema Biológico, que aglutina las variables: cobertura forestal y la cobertura de las áreas protegidas registradas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), donde se considera: la biodiversidad a través de la presencia de la flora endémica y el estado evolutivo.

- b. El modelo generado para determinar el Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala (ISAGT), quedó delimitado como una combinación lineal de los indicadores aleatorios (X_j), con su respectiva ponderación (w_j), de acuerdo a lo definido por Castro Bonaño (2009), por lo que el valor teórico del ISAGT, se estima a través de la siguiente ecuación de síntesis:

$$\text{ISAGT} = \text{ICUT} \cdot 0.14 + \text{ICAS} \cdot 0.12 + \text{IGR} \cdot 0.14 + \text{ICF} \cdot 0.15 + \text{ICAP} \cdot 0.21 + \text{IPFEAP} \cdot 0.15 + \text{IEVAP} \cdot 0.09$$

En donde:

ISAGT	=	Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala
ICUT	=	Indicador de conflicto de uso del territorio
ICAS	=	Indicador de calidad de agua superficial
IGR	=	Indicador de gestión de residuos
ICF	=	Indicador de cobertura forestal
ICAP	=	Indicador de cobertura de áreas protegidas
IPFEAP	=	Indicador de presencia de flora endémica en áreas protegidas
IEVAP	=	Indicador de Estado evolutivo del área protegida

El ISAGT, toma valores entre 1 y 5, en donde 1 es un muy mal estado del ambiente, 3 un valor medio y 5 excelentes condiciones.

- c. Considerando las fuentes de información existentes a nivel municipal se determinó la confiabilidad del Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT) desarrollado, ya que al realizarse la validación del mismo a través del análisis de sensibilidad mediante la estimación de la varianza, se pudo comprobar que la interacción entre indicadores es relevante y que la selección y ponderación de ellos realizado a través de métodos participativos redujeron significativamente las fuentes de incertidumbre.

- d. Se estimó el Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT) de los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, demostrando que con la metodología desarrollada es factible integrar diferentes variables (físicas y biológicas), que influyen en el estado del ambiente a nivel municipal. Esto permitirá promover e impulsar procesos y estrategias de planificación ambiental territorial con enfoque local, para que, en el corto, mediano y largo plazo, se frenen y se reviertan los procesos de degradación en los sistemas naturales.

- e. Se considera que, al contarse con mayor disponibilidad de estadística ambiental, especialmente georreferenciada a nivel municipal, podrán incluirse otros indicadores y sus respectivas variables al ISAGT, por lo que la lista de indicadores identificados en este estudio, no está cerrada, ya que únicamente se consideraron una serie de variables de las cuales se tiene información confiable o que pudo capturarse de manera práctica a nivel municipal.

6.2. RECOMENDACIONES

- a. Por la debilidad que existe a nivel municipal en la generación de información estadística ambiental, es imprescindible la producción de dicha información, a través de las diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales que tienen incidencia a nivel de municipio. Por lo tanto, el índice propuesto es susceptible de ajustes, convirtiéndose en la primera aproximación de contar en el país con una herramienta que permita reflejar el estado del ambiente a nivel municipal.

- b. Debido a que en el país persiste la débil valoración de los indicadores como herramienta para evaluar las políticas públicas, se recomienda al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, promover la difusión de la presente metodología (incluida en las hojas metodológicas) a través de talleres a nivel municipal para su aplicación a nivel nacional. Además, capacitar a los tomadores de decisiones sobre la aplicación práctica del índice, para enmarcar los procesos de planificación local, regional y nacional.

- c. Por la desarticulación y debilidad institucional para el desarrollo y sostenimiento de indicadores de sostenibilidad ambiental, es importante la construcción de plataformas interinstitucionales en donde converjan y colaboren todas las instituciones y su personal, para consolidar el proceso estadístico ambiental, particularmente a nivel municipal.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, H. (2010). *Análisis del crecimiento urbano y los cambios de uso del suelo, durante el período 1964 a 2006 en los municipios conurbados de la Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango. Tesis Maestría*. Quetzaltenango, Guatemala: FAUSAC.
- Astigarraga, E. (2000). El método Delphi. *Prospectiva*, 1-14. Obtenido de http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo_delphi.pdf
- Bravo, M., & Arrieta, J. (2005). El método Delphi: su implementación en una estrategia de didáctica para la enseñanza de las demostraciones geométricas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 11. Recuperado el 2013, de <http://www.rieoei.org/deloslectores/804Bravo.PDF>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (October de 1970). "A water quality index- do we dare?". *Water and Sewage Works*, págs. 339-343.
- Calvo Brenes, G. (2015). *Ríos: fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental* (1 ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Castro Bonaño, M. (2009). *Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una aplicación para Andalucía*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Departamento de Economía Aplicada. Málaga: Universidad de Málaga. Recuperado el 2014, de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/jmc/>
- Colina, A., Marquínez, J., & García, P. (2003). Indicadores ambientales en la Estrategia Territorial Europea. *Urban(8)*, 63-77. Recuperado el 2014, de <http://polired.upm.es/index.php/urban/article/view/395>
- Colomer, F., & Gallardo, A. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Congreso de la República de Guatemala. (1986). *Decreto 68-86 Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Congreso de la República de Guatemala. (1989). *Decreto No. 4-89 Ley de Áreas Protegidas*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Decreto No. 101-96 Ley Forestal de Guatemala*. Guatemala: Diario de Centro América.

Congreso de la República de Guatemala. (2000). *Decreto No. 90-2000 Ley de creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. Guatemala: Diario de Centro América.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2010). *Conservación de la biodiversidad en Guatemala: integración de los Análisis de vacíos Ecológicos y Estrategias para Conservación*. Guatemala: CONAP. Recuperado el enero de 2016

Del Bosque González, I., Fernández Freire, C., Martín-Forero Morente, L., & Pérez Asensio, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la investigación en las Ciencias Humanas y Sociales*. Madrid: Confederación Española de Centros de Estudios Locales . Recuperado el 15 de Enero de 2016, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigacion%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf>

Díaz Cano, L. A. (2010). *Estudio comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica , caso de estudio río Loa*. Tesis maestría, Universidad Católica del Norte, Departamento de Química, Antofagasta. Recuperado el agosto de 2015

FAO. (2006). *Vigésimo novena conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Caracas: FAO. Recuperado el 2013, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/011/j8120s.pdf>

FAO. (2016). *Trigésimo cuarta Conferencia REgional de la FAO*. México: FAO. Recuperado el septiembre de 2016

Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2005). *Índices de calidad de agua e índices de contaminación*. Pamplona, Colombia: Universidad de Pamplona. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/903/90320212.pdf>

Franco, J. A. (2008). Percepción de la erosión agraria. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, XL(2)*, 49-60. Recuperado el 2013, de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digiales/2719/francoagrarias2-08.pdf

Gallopin, G. (1997). *Indicators and their use: Information for decision-making*. (B. Moldan, & S. Billharz, Edits.) Chichester: Wiley.

García, A. (2015). *Determinación de la calidad, las potencialidades y restricciones de uso de las aguas superficiales en municipios conurbados de la Metrópoli de Los Altos*. Tesis

Maestría. Departamento de Post Grados. Quetzaltenango: Centro Universitario de Occidente.

- García, M., & Suárez, M. (2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 253-267. Recuperado el 2014, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcsp/v39n2/spu07213.pdf>
- Gaviño, M., & Sarandón, R. (2001). *El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata. Recuperado el 2013, de <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358024/act4.pdf>
- Gómez, D. (2008). *Ordenación Territorial*. Madrid: Mundi Prensa.
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., & Woodward, R. (1995). *Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington DC: World Resources Institute. Obtenido de http://pdf.wri.org/environmentalindicators_bw.pdf
- Harmeling, S., & Eckstein, D. (2012). *Global Climate Risk Index 2013*. Berlin: Germanwatch. Obtenido de <https://germanwatch.org/en/download/7170.pdf>
- Instituto Nacional de Bosques. (2000). *Clasificación de Tierras por capacidad de uso*. Guatemala: INAB.
- Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar. (2012). *Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010*. Guatemala: SERVIPRENSA.
- Isa, F., Ortúzar, M., & Quiroga, R. (2005). *Cuentas ambientales: conceptos, metodologías y avances en los países de América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL. Recuperado el 2013, de <http://www.iheal.univ-paris3.fr/sites/www.iheal.univ-paris3.fr/files/cuentas%20ambientales.pdf>
- Jochem, P., & Böhringer, C. (2007). *Measuring the Immeasurable: A Survey of Sustainability Indices*. Centre for European Economic Research. Mannheim, Germany: ZEW. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://ub-madoc.bib.uni-mannheim.de/1457/1/dp06073.pdf>

- Laurini, R., Servigne, S., & Noel, G. (2005). Soft Real-Time GIS for Disaster Monitoring. En P. Van Oosterom, S. Zlatanova, & M. Fendel (Ed.), *Proceedings of the The First International Symposium on Geo-information for Disaster Management*, (págs. 465-479). Delft. Recuperado el 2013, de <http://liris.cnrs.fr/robert.laurini/text/Delft-2005.pdf>
- Loh, J., Green, R., Ricketts, T., Lamoreux, J., Jenkins, M., Kapos, V., & Randers, J. (28 de Febrero de 2005). *The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity*. doi:10.1098/rstb.2004.1584
- Mancomunidad de la Metrópoli de Los Altos. (2006). *Plan estratégico de desarrollo integral de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos*. Quetzaltenango.
- Mancomunidad de la Metrópoli de Los Altos. (2007). *Plan estratégico territorial del Valle de Quetzaltenango*. Quetzaltenango.
- MARN-URL/IARNA-PNUMA. (2009). *Informe ambiental del Estado de Guatemala Geo 2009*. Guatemala: MARN.
- Massiris Cabeza, A. (2002). Ordenación del territorio en América Latina. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 6(125), 7-87. Recuperado el 2014, de <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-125.htm>
- Molina, J. M. (2008). *Consideraciones del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis Doctoral*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 2013, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2375/>
- Naciones Unidas. (1987). *Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>
- Naciones Unidas. (2005). *Objetivos de desarrollo del milenio: una mirada desde América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2797/S2005002_es.pdf?sequence=1
- Naciones Unidas. (2015). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. CEPAL. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

- Oram, B. (21 de Enero de 2013). *www.water-research.net*. Recuperado el Febrero-Mayo de 2013, de *www.water-research.net*: <http://www.water-research.net/watrqualindex/>
- Organization for Economic Cooperation and Development. (2008). *OECD Glossary of Statistical Terms*. OECD. París: OECD.
- Organization for Economic Cooperation and Development OECD. (1993). *Core set of indicators for environmental performance reviews*. París: OCDE. Recuperado el 2013, de <http://enrin.grida.no/htmls/armenia/soe2000/eng/oecdind.pdf>
- Organization for Economic Cooperation and Development OECD. (2002). *Aggregated environmental indices: Review of aggregation methodologies in use*. París: OCDE. Obtenido de [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EP/OC/SE\(2001\)2/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EP/OC/SE(2001)2/FINAL&docLanguage=En)
- Ortega, F. (16 de Agosto de 2008). El método Delphi, prospectiva en Ciencias Sociales. *Revista EAN*, 31-54. Recuperado el 2013, de <http://journal.ean.edu.co/index.php/Revista/article/viewFile/452/444>
- PNUD. (2011). *Cifras para el desarrollo humano, Quetzaltenango*. Guatemala: Serviprensa, S.A.
- PNUMA. (2011). *ILAC Revisión Regional de Indicadores 2011*. Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible. Panamá: ORPALC.
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas* (Vol. 16). Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas. Recuperado el 2013, de <http://www.cepal.org/deype/publicaciones/xml/4/34394/lcl2771e.pdf>
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL Naciones Unidas. Obtenido de <http://archivo.cepal.org/pdfs/2009/S0900307.pdf>
- Schuschny, A., & Soto, H. (2009). *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas. Recuperado el 2013, de

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/S2009230_es.pdf?sequence=1

- Segnestam, L. (2000). *Desarrollo de indicadores: lecciones aprendidas de América Central*. Washington: Proyecto CIAT Banco Mundial-PNUMA.
- Stepping, K. (2013). *Challenges in Measuring the State of the Environment in Developing Countries*. German Development Institute, Environmental Policy and Management of Natural Resources. Bonn: Deutsches Institut für Entwicklungspolitik gGmbH. Recuperado el septiembre de 2016, de https://www.die-gdi.de/uploads/media/DP_25.2013.pdf
- United Nations. (1992). *Agenda 21: United Nations Conference on Environment & Development*. Río de Janeiro: Commission on Sustainable Development, United Nations. Recuperado el 2013, de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
- United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development. Guidelines and methodologies*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. New York: DESA.
- United Nations DESA. (2007). *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies* (Third edition ed.). New York: United Nations. Recuperado el 2013, de <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>
- Universidad de Pamplona. (2007). Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Pamplona, Colombia. Recuperado el 2012, de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatetest_capitulo3.pdf
- Universidad Rafael Landívar IARNA. (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
- Universidad Rafael Landívar IARNA. (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: IARNA Universidad Rafael Landívar.
- Universidad Rafael Landívar, IARNA. (1984). *Perfil Ambiental de Guatemala*. Guatemala: IARNA, Universidad Rafael Landívar.

- Universidad Rafael Landívar, IARNA. (2004). *Perfil ambiental de Guatemala, Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistémica*. Guatemala: IARNA Universidad Rafael Landívar.
- Valcarcel Rojas, L., Alberro Macías, N., & Frías Fonseca, D. (2009). *El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos*. Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear. La Habana: Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear. Recuperado el Noviembre de 2015, de <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.01.pdf>
- Veliz Pérez, M. E. (2013). *Determinación, caracterización y evaluación del estado actual y uso de las especies endémicas de Guatemala*. Guatemala: FODECYT.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (2001). *Nuestra huella ecológica, Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra* (Primera Edición ed.). (B. Reyes, Trad.) Santiago de Chile: LOM ediciones.
- Yale University. (2010). *2010 Environmental Performance Index*. New Haven, Connecticut: Yale Center for Environmental Law and Policy. Obtenido de <http://www.ilsole24ore.com/fc?cmd=document&file=/art/SoleOnline4/Mondo/2010/01/environmental-performance-index.pdf?cmd=art>

ANEXOS

Anexo 1. Hoja metodológica para la estimación del indicador de conflicto de uso del territorio (ICUT)

Nombre del indicador	Conflicto de uso del territorio	1/7
Abreviatura	ICUT	
Definición breve	El indicador de la Intensidad de Uso del Territorio, quedó definido como la determinación y cuantificación de la extensión y distribución geográfica, en un período de tiempo determinado, de la idoneidad del uso del territorio de acuerdo a su uso potencial. Este indicador mide la tendencia de transformación de un tipo de uso del territorio hacia su uso óptimo, provee información sobre el estado real de la aplicación de políticas de ordenamiento territorial (Gómez, 2008).	
Unidad de medida	Porcentaje	
Pertinencia del indicador	Un problema frecuente en Guatemala, es la utilización de las tierras para la cual no tienen aptitud, o su utilización en actividades por encima de su capacidad de uso. Este indicador proporciona información para solucionar numerosos problemas relacionados con la degradación y la conservación de suelos y problemas relacionados con las políticas sobre manejo sostenible de tierras ya que define el grado de compatibilidad del territorio, de acuerdo a su capacidad de uso potencial.	
Fórmula del cálculo	<p>Para la generación del indicador de conflicto de uso del territorio, se realizó a través de la elaboración de un mapa mediante la unión de las capas (<i>shape</i>) de uso actual y capacidad de uso del territorio y la capa de áreas protegidas, todas obtenidas de las capas realizadas a nivel nacional por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), de la siguiente manera:</p> <p>Mapa de capacidad de uso del territorio</p> <p>Para ello se utilizó el mapa generado por el IGN en enero del año 2000, el que es una representación espacial tipo vector, el formato de distribución es <i>Arc View ShapeFile</i>, a escala 1:250000. La clasificación está basada en las normas y principios del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) ajustado a los patrones edáficos, climáticos y toposiográficos existentes en el país. Conforme al sistema de clasificación las Clases I a IV, son para uso agrícola con diversas limitantes, la V tiene usos silvopastoriles, forestales y de protección; la VI es útil para cultivos permanentes y sistemas agroforestales; la VII agrupa suelos apropiados para la explotación forestal y a la VIII se le asignan usos preferentemente de conservación o protección.</p>	

Mapa de uso actual del territorio

Para la elaboración del mapa de uso actual del territorio, se utilizaron de base 16 ortofotos del IGN del Proyecto MAGA del año 2006 (18601-19, 18601-20, 18601-24, 18601-25, 18602-4, 18602-5, 18602-9, 18602-10, 18602-14, 18602-15, 19603-1, 19603-3, 19604-16, 19604-17, 19604-21, 19604-22). Con estas imágenes se procedió a utilizar el *software ArcGis 9.1*, con el que se reconocieron e identificaron los diferentes usos de suelo, por medio del contraste de tonalidades, es decir el cambio de grises de las ortofotos. Se hizo énfasis en la diferenciación de usos de suelo correspondientes a: suelo agrícola, forestal y área protegidas, ya que el uso de suelo urbano fue más fácil de identificar, debido a las construcciones.

Por el año de obtención de las ortofotos, se realizó una corrección del uso actual, para ello se utilizaron imágenes de *Google Earth* del 2014, las que por medio de fotoanálisis y el *software QGIS* se generó un *shape* de entidad polígono en sistema de referencia WGS 84 UTM Zona 15, a través del proceso de delineación o digitalización (ver **Anexo 8** para el procedimiento completo).

Mapa de conflicto de uso del territorio

Para crear el mapa de conflicto de uso del territorio se usó el programa *ArcGis 9.1* (similar en versiones posteriores) de la siguiente manera:

Se realizó una selección de los municipios del área en estudio y se creó una capa (*shape*). De la misma manera se creó una capa de uso potencial y una de uso actual, por medio de la herramienta *clip analysis*. Con las capas de uso potencial y de uso actual y con la herramienta de unión (*analysis*), se crea la capa de conflicto de uso del suelo. Para ello se despliega la tabla de atributos de la nueva capa de conflicto de uso y se le agrega una nueva columna llamada *Conflicto*, la cual se crea desde las opciones de la tabla y se aplica en el comando *add field*, se despliega una ventana donde se escribe el nombre en el formato de texto (*text*). Seguidamente se realizaron las selecciones dentro de la pestaña de *selection* y en *select by attributes* en dos columnas diferentes, como por ejemplo: "CAP_NOM" = 'AGRICULTURA CONSERVACIÓN' AND "USO_ACT" = 'AGRICOLA', esto para que el programa reconozca los parámetros de la selección en SQL.

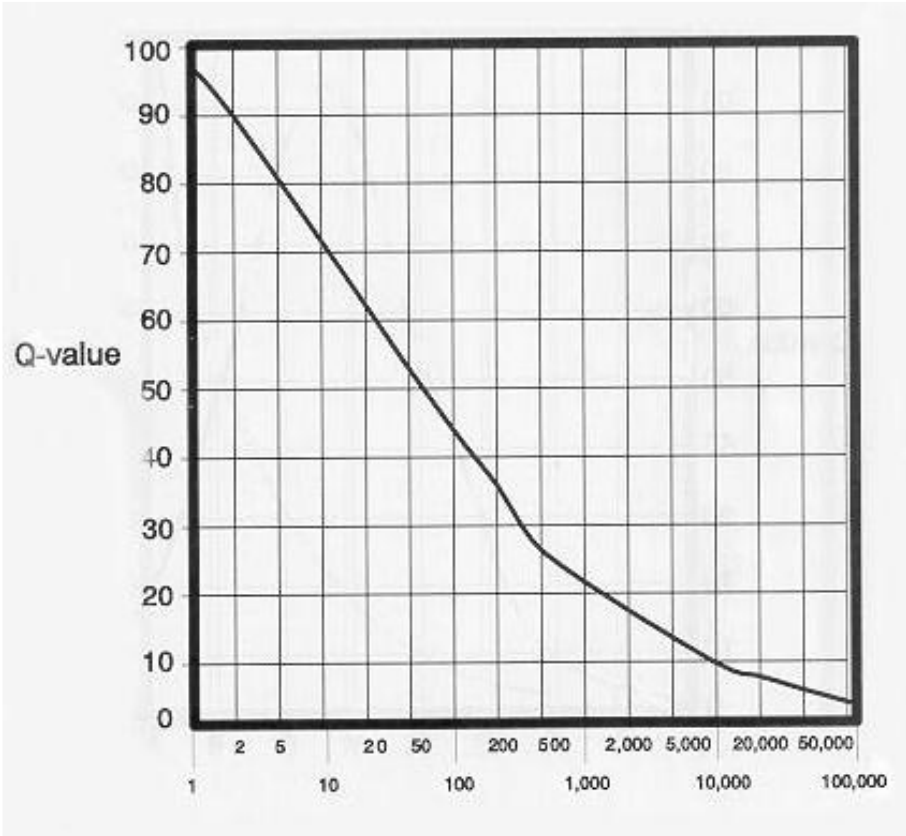
En la tabla de atributos se seleccionaron las filas que contienen la columna CAP_NOM (capacidad de uso) y la columna USO_ACT (uso actual), en la nueva columna de CONFLICTO se dio *click* derecho y se elige *Field Calculator* y dentro de esta ventana entre comillas, se escribe el tipo de conflicto.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uso potencial</th> <th>Uso actual</th> <th>Conflicto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Agroforestal</td><td>Agrícola</td><td>Sobre utilizado</td></tr> <tr><td>Agroforestal</td><td>Forestal</td><td>Sobre utilizado</td></tr> <tr><td>Agroforestal</td><td>Sin Uso</td><td>Sub utilizado</td></tr> <tr><td>Agroforestal</td><td>Urbano</td><td>Urbano</td></tr> <tr><td>Protección</td><td>Agrícola</td><td>Sobre utilizado</td></tr> <tr><td>Protección</td><td>Forestal</td><td>Uso Adecuado</td></tr> <tr><td>Protección</td><td>Sin Uso</td><td>Uso Adecuado</td></tr> <tr><td>Protección</td><td>Urbano</td><td>Urbano</td></tr> <tr><td>Agricultura Intensiva</td><td>Agrícola</td><td>Uso Adecuado</td></tr> <tr><td>Agricultura Intensiva</td><td>Forestal</td><td>Sub utilizado</td></tr> <tr><td>Agricultura Intensiva</td><td>Sin Uso</td><td>Sub utilizado</td></tr> <tr><td>Agricultura Intensiva</td><td>Urbano</td><td>Urbano</td></tr> <tr><td>Agricultura Conservación</td><td>Agrícola</td><td>Uso Adecuado</td></tr> <tr><td>Agricultura Conservación</td><td>Forestal</td><td>Sub utilizado</td></tr> <tr><td>Agricultura Conservación</td><td>Sin Uso</td><td>Sub utilizado</td></tr> <tr><td>Agricultura Conservación</td><td>Urbano</td><td>Urbano</td></tr> </tbody> </table>			Uso potencial	Uso actual	Conflicto	Agroforestal	Agrícola	Sobre utilizado	Agroforestal	Forestal	Sobre utilizado	Agroforestal	Sin Uso	Sub utilizado	Agroforestal	Urbano	Urbano	Protección	Agrícola	Sobre utilizado	Protección	Forestal	Uso Adecuado	Protección	Sin Uso	Uso Adecuado	Protección	Urbano	Urbano	Agricultura Intensiva	Agrícola	Uso Adecuado	Agricultura Intensiva	Forestal	Sub utilizado	Agricultura Intensiva	Sin Uso	Sub utilizado	Agricultura Intensiva	Urbano	Urbano	Agricultura Conservación	Agrícola	Uso Adecuado	Agricultura Conservación	Forestal	Sub utilizado	Agricultura Conservación	Sin Uso	Sub utilizado	Agricultura Conservación	Urbano	Urbano
	Uso potencial	Uso actual	Conflicto																																																			
	Agroforestal	Agrícola	Sobre utilizado																																																			
	Agroforestal	Forestal	Sobre utilizado																																																			
	Agroforestal	Sin Uso	Sub utilizado																																																			
	Agroforestal	Urbano	Urbano																																																			
	Protección	Agrícola	Sobre utilizado																																																			
	Protección	Forestal	Uso Adecuado																																																			
	Protección	Sin Uso	Uso Adecuado																																																			
	Protección	Urbano	Urbano																																																			
	Agricultura Intensiva	Agrícola	Uso Adecuado																																																			
	Agricultura Intensiva	Forestal	Sub utilizado																																																			
	Agricultura Intensiva	Sin Uso	Sub utilizado																																																			
	Agricultura Intensiva	Urbano	Urbano																																																			
	Agricultura Conservación	Agrícola	Uso Adecuado																																																			
	Agricultura Conservación	Forestal	Sub utilizado																																																			
	Agricultura Conservación	Sin Uso	Sub utilizado																																																			
Agricultura Conservación	Urbano	Urbano																																																				
Definición de las variables y criterio de ponderación	Conflicto de uso		Ponderación	Criterio de ponderación																																																		
	CONFLICTO POR SOBRE USO: Calificación dada a las tierras en donde el uso actual dominante es más intenso, en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas.	1	75% a 100% del territorio bajo esta categoría																																																			
		2	30% a 74% del territorio bajo esta categoría																																																			
	CONFLICTO POR SUB USO: Calificación dada a las tierras donde el uso dominante corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la vocación de uso principal o la de los usos compatibles.	3	30% a 100% del territorio bajo esta categoría																																																			
	SIN CONFLICTO DE USO: El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras.	4	30% a 74% del territorio bajo esta categoría																																																			
5		75% a 100% del territorio bajo esta categoría																																																				
Limitaciones del indicador	El indicador no define el grado de degradación del territorio, ni del paisaje. Tampoco identifica las causas por las que un territorio se utiliza de acuerdo o no, a su capacidad potencial de uso. Ni aspectos antropológicos y socioeconómicos de poblaciones, o estado jurídico catastral																																																					
Captura de datos	Capas extraídas del Instituto Geográfico Nacional																																																					
Periodicidad	Cada dos años																																																					

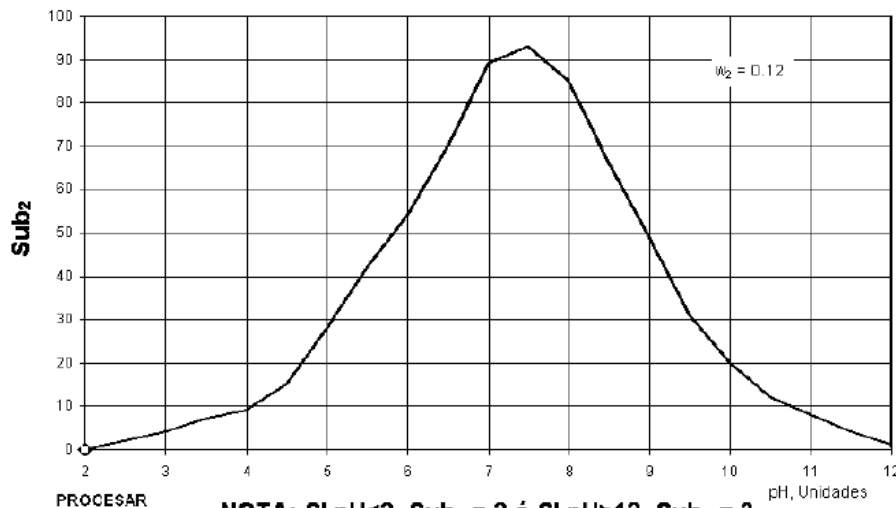
Anexo 2. Hoja metodológica para la estimación del indicador de calidad de agua superficial (ICAS)

NOMBRE DEL INDICADOR	Calidad de agua superficial	2/7
Abreviatura	ICAS	
Definición breve	Se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano	
Pertinencia del indicador	La calidad del agua, es un indicador del estado de la calidad del ambiente. El uso del agua ha sido asociado al consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Este indicador evalúa el nivel potencial de contaminación de fuentes superficiales y monitorea el progreso hacia la reducción de este potencial en el marco de la gestión integrada de recursos hídricos. Ayuda a identificar las comunidades en que se requiere una acción tratamiento de aguas residuales para proteger el ecosistema	
Fórmula del cálculo	$ICAS = \sum_{i=1}^N q_i w_i$ <p>donde: ICA: indicador de calidad de agua n: número de parámetros q_i: escala de calidad (subíndice) del parámetro i. w_i: factor de ponderación del parámetro i</p>	
Definición de las variables	<ul style="list-style-type: none"> • Coliformes totales (Colonias/100ml): La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. • pH (unidades) El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad de una sustancia y se define como la concentración del ion hidrógeno en el agua. • Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l): Es el parámetro que se maneja para tener una medida de la materia orgánica biodegradable. La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas. Permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas • Nitratos (en mg/l): El nitrato es un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O) cuyo símbolo químico es NO₃. Normalmente, el nitrato no es peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO₂). Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas) se asocian, mayormente, a actividades agrícolas y 	

	<p>ganaderas, aunque en determinadas áreas, también pueden estar relacionadas a ciertas actividades industriales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fosfatos (en mg/l) El fósforo total es una medida de todas las formas de fósforo existentes, ya sean disueltas o en partículas que incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace al convertir todos ellos en ortofosfatos que son los que se obtienen por análisis químico • Temperatura (°C): La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Ésta no depende del número de partículas en un objeto y, por lo tanto, de su tamaño. La temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad de agua, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. • Turbidez (NTU): Reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La turbidez, también es nombrada turbiedad. • Sólidos disueltos totales (en mg/l): es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica mediante la expresión: $Sdt = C.E. (mmhos/cm) \times 700$ • Oxígeno disuelto (% saturación): El Oxígeno Disuelto es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y de cuánto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua.
Muestra	<p>Realizar el inventario de las fuentes de agua de cada uno de los municipios en estudio. Para determinar la muestra, se empleó el método estadístico de poblaciones finitas y el método aleatorio estratificado simple, como medida de selección.</p> $n = \frac{N \sum^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + 6^2 Z^2}$ <p>Donde: N = Población total (Número total de fuentes de agua) n = Tamaño de la muestra ($\Sigma \sigma \varsigma$) = Sigma (0.5) Z = Nivel de confianza (95%) e = Error aceptable (0.1)</p> <p>Proceder a la toma de muestras de agua, durante la época seca.</p>
Método de cálculo	<p>ICAS = (Wcf*Cf) + (WpH*pH) + (WBO*DBO) + (WN*N) + (WF*F) + (WT*T) + (WTu*Tu) + (WSdt*Sdt) + (Wod*Od)</p> <p>Donde: ICAS = Indicador calidad de agua superficial W = Peso de cada variable</p>

	<p>Cf = Coliformes totales (Colonias/100ml, buscar valor de q) pH = Variable pH (Unidades de pH, buscar valor de q) DBO = Variable Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l, buscar valor de q) N =Variable Nitratos (en mg/l, buscar valor de q) F = Variable Fosfatos (en mg/l, buscar valor de q) T = Variable Temperatura (en grados Celsius, buscar valor de q) Tu = Turbidez (en NTU, buscar valor de q) Sdt = Sólidos disueltos totales (en mg/l, buscar valor de q) OD = Oxígeno disuelto (en % de saturación, buscar valor de q)</p>
<p>Calculo de q_1, a través de ajustes polinómicos</p>	<p style="text-align: center;">ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE q_1 COLIFORMES TOTALES</p>  <p style="text-align: center;">Nota: Si el número de colonias de coliformes fecales es mayor que 100.000, el valor de q es igual a 3</p>

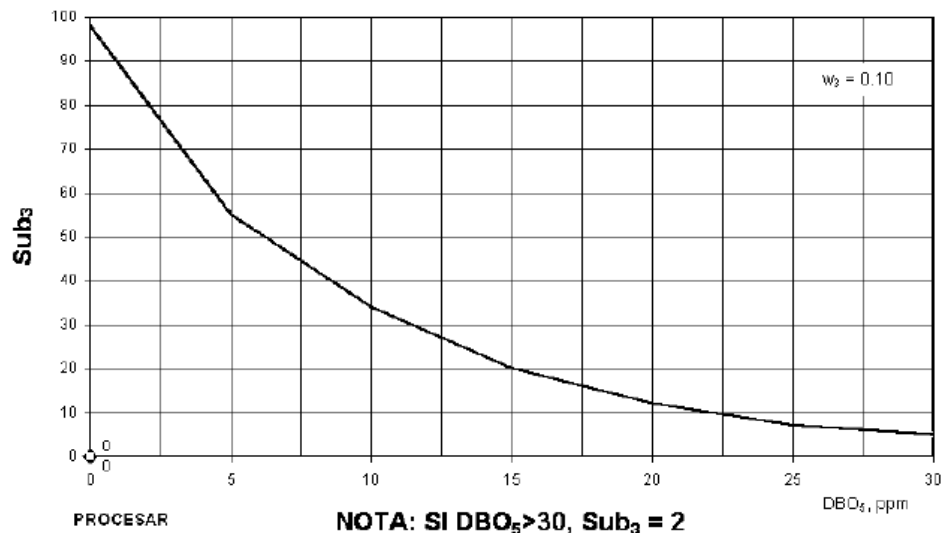
pH



NOTA: SI $pH < 2$, $Sub_2 = 2$ ó SI $pH > 12$, $Sub_2 = 3$

Nota: Si el pH es menor que 2.0 o mayor que 12.0, el valor de q es

DBO₅

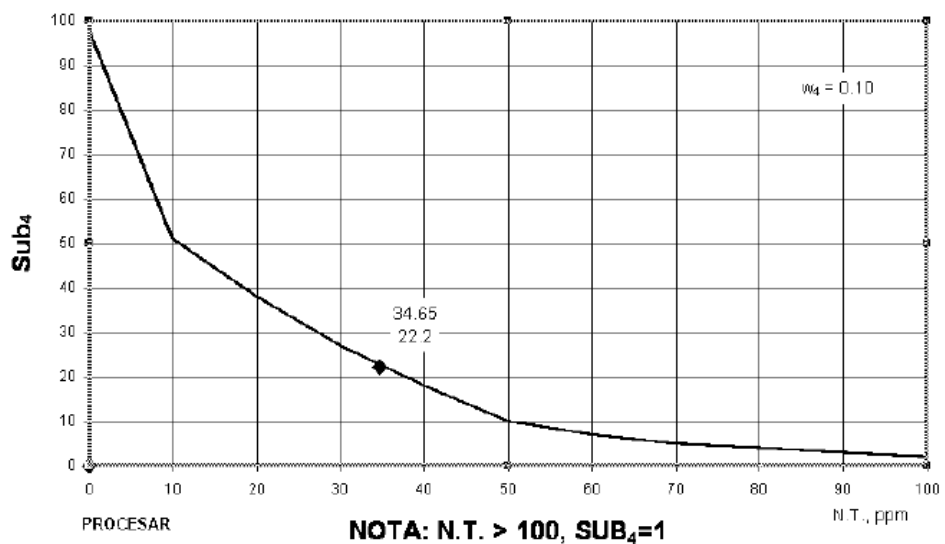


NOTA: SI $DBO_5 > 30$, $Sub_3 = 2$

igual a 3

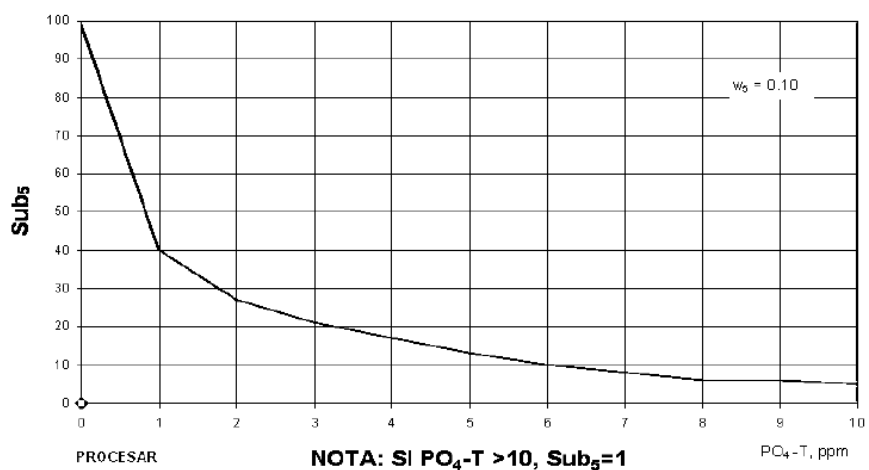
Nota: Si la demanda bioquímica de oxígeno es superior a 30 ppm, el valor de q es igual a 2

NITRATOS



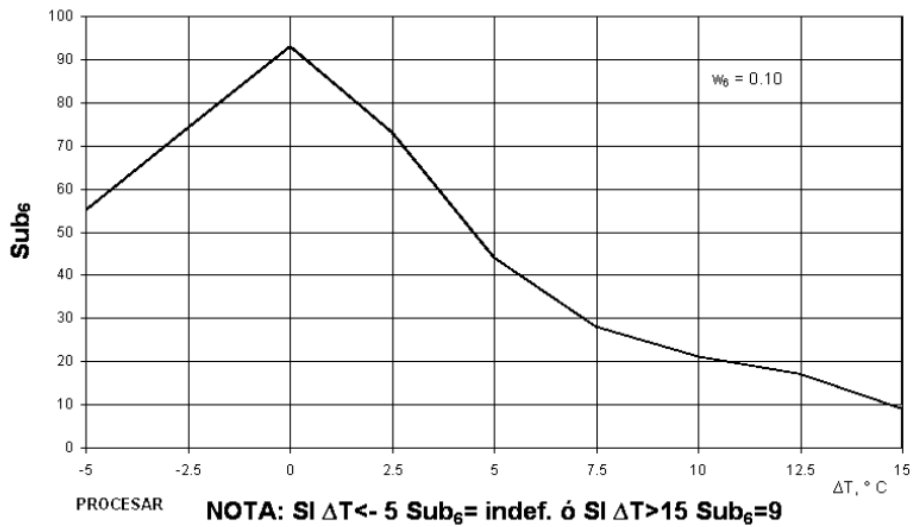
Nota: Si nitrato es superior a 100 ppm, el valor de q es igual a 1.

FOSFATOS

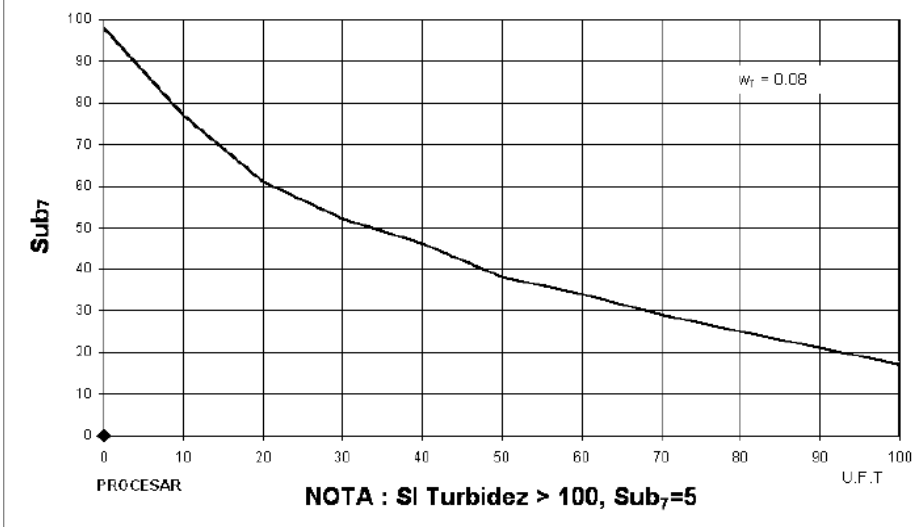


Nota: Si fosfato total es mayor que 10 ppm, el valor de q es igual a 1

CAMBIO DE TEMPERATURA

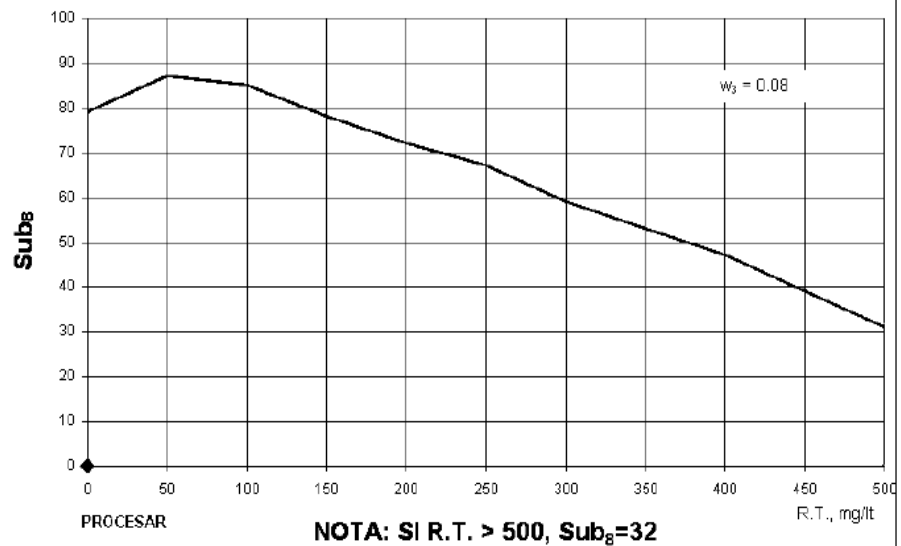


TURBIDEZ



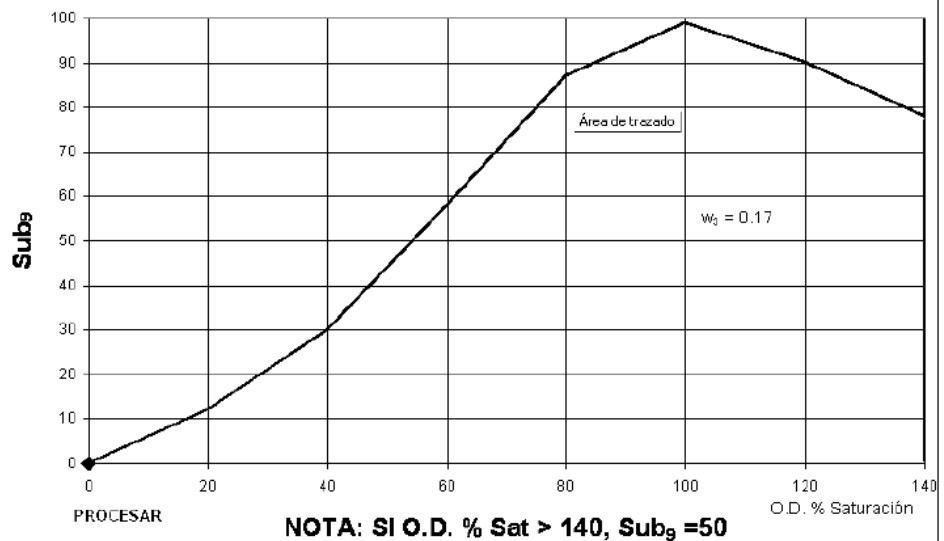
Nota: Si la turbidez es mayor que 100 FTU, el valor de q es igual a 5

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES



Nota: Si los sólidos totales es mayor que 500 ppm el valor de q es 32

OXIGENO DISUELTO



Nota: Si el oxígeno disuelto es mayor que 140%, el valor de q es igual 50.

Cálculo del indicador	Para el cálculo del indicador de calidad de agua (ICAS) de la fuente superficial, los datos de q, obtenidos en las gráficas anteriores se incorporan en la tabla siguiente, o puede utilizarse la calculadora virtual disponible en: http://www.water-research.net/watrqualindex/						
	VARIABLE	Valor	UNIDADES	q₁	W₁	Total	
	1 Coliformes fecales		NMP/100 ml		0.15		
	2 pH		Unidades		0.12		
	3 DBO ₅		mg/l		0.10		
	4 Nitratos		mg/l		0.10		
	5 Fosfatos		mg/l		0.10		
	6 Temperatura		°C		0.10		
	7 Turbidez		UFT		0.08		
	8 Sólidos Disueltos totales		mg/l		0.08		
	9 Oxígeno Disuelto		% saturación		0.17		
	Valor Indicador Calidad de Agua:					Σ	
	Fuente: Índice Calidad de Agua (Brown, R. 1970)						
Limitaciones del indicador	El indicador no proporciona información sobre la calidad de las aguas residuales vertidas, tampoco aborda el nivel de tratamiento requerido para satisfacer las necesidades de los ecosistemas específicos						
Captura de datos	Muestreo de agua de fuentes superficiales						
Periodicidad	Cada dos años						

Anexo 3. Hoja metodológica para la estimación del indicador de gestión de residuos (IGR)

NOMBRE DEL INDICADOR	Gestión de residuos	3/7
Abreviatura	IGR	
Definición breve	La gestión de residuos, es la recolección, transporte, procesamiento o tratamiento, reciclaje o disposición de material de desecho, generalmente producida por la actividad humana, en un esfuerzo por reducir los efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno. Este indicador, está definido en función del nivel de eficiencia en el manejo y disposición de los desechos sólidos, la producción per cápita de estos desechos y el nivel de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, a nivel municipal.	
Unidad de medida	Tratamiento de aguas residuales y disposición y manejo de desechos sólidos son adimensionales y la producción per cápita de desechos sólidos en kilogramos por habitante por día.	
Pertinencia del indicador	<p>La importancia de gestionar bien los recursos es tal que diversos acuerdos internacionales y las Conferencias mundiales sobre el medio Ambiente, como la de Río de 1992, han tratado el tema. La mala o inadecuada gestión de residuos (ya sean estas aguas residuales o residuos sólidos) origina una serie de impactos ambientales. En muchos municipios la mayor parte de las aguas residuales se descarga en el medio ambiente sin haber sido tratadas o no habiéndolo sido suficientemente. Se trata de una situación insostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental, especialmente habida cuenta de la creciente demanda de recursos hídricos finitos, del rápido crecimiento de la población, especialmente en las zonas urbanas, de la expansión industrial y de la necesidad de ampliar la agricultura de regadío. La mala calidad del agua reduce la disponibilidad de recursos hídricos para fines concretos, en particular para las necesidades domésticas, y tiene consecuencias adversas para la salud pública. Por consiguiente, el tratamiento de las aguas residuales es uno de los requisitos fundamentales de la sostenibilidad.</p> <p>La generación de residuos tiene un impacto directo en la salud y el medio ambiente a través de la exposición a este tipo de desechos. Normalmente, se requiere la exposición a largo plazo antes de que se observan efectos nocivos. Para la reducción de desechos en un municipio se requiere la producción más limpia en los procesos industriales, o el cambio de los patrones en los hábitos de los consumidores, o el cambio en la legislación nacional.</p>	
Fórmula del cálculo	IGR = tas (0.50) + mds (0.40) + ppds (0.10)	

	<p>En donde:</p> <p>IGR = Indicador de Gestión de residuos</p> <p>W = Ponderación de cada variable</p> <p>Tas = Ponderación del tratamiento de aguas superficiales</p> <p>Mds = Ponderación del manejo de desechos sólidos</p> <p>ppds = Ponderación de la producción per cápita de desechos sólido (kg/habitante/día)</p>																														
Definición de las variables	<p>1. Tratamiento de Aguas Superficiales: serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano</p> <p>2. Manejo y disposición de desechos sólidos: Son los restos de actividades humanas, considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables, pero que pueden tener utilidad para otras personas. En sí, es la basura que genera una persona.</p> <p>3. Producción per cápita de desechos sólidos: relaciona la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de un lugar o región determinada.</p> $P_R = \frac{N_V * N_J * N_J * D_N}{P_T}$ <p>Donde:</p> <p>P_R = Producción total de residuos sólidos por día</p> <p>N_V = Número de vehículos en operación</p> <p>N_J = Número de viajes por vehículo</p> <p>C_P = Volumen estimado por vehículo en m³</p> <p>D_N = Densidad de los residuos en el vehículo</p> <p>P_T = Población total por municipio</p>																														
Método de cálculo	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="459 1356 639 1388">Componente</th> <th data-bbox="639 1356 1146 1388">Tipo de tratamiento</th> <th data-bbox="1146 1356 1297 1388">Eficiencia</th> <th data-bbox="1297 1356 1411 1388">Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="459 1388 639 1703" rowspan="5">Tratamiento Aguas Superficiales</td> <td data-bbox="639 1388 1146 1419">Sin tratamiento</td> <td data-bbox="1146 1388 1297 1419">0</td> <td data-bbox="1297 1388 1411 1419">1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="639 1419 1146 1451">Tratamiento primario (fosa séptica)</td> <td data-bbox="1146 1419 1297 1451">35%</td> <td data-bbox="1297 1419 1411 1451">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="639 1451 1146 1482">Tanque Imhof</td> <td data-bbox="1146 1451 1297 1482">50%</td> <td data-bbox="1297 1451 1411 1482">3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="639 1482 1146 1577">Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof</td> <td data-bbox="1146 1482 1297 1577">70%</td> <td data-bbox="1297 1482 1411 1577">4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="639 1577 1146 1703">Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida</td> <td data-bbox="1146 1577 1297 1703">90 al 100%</td> <td data-bbox="1297 1577 1411 1703">5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="459 1703 639 1856" rowspan="2">Disposición y manejo de desechos sólidos</td> <td data-bbox="639 1703 1146 1797">Basureros al aire libre (basureros clandestinos) o baja eficiencia y cobertura en el sistema de recolección</td> <td data-bbox="1146 1703 1297 1797">0 %</td> <td data-bbox="1297 1703 1411 1797">1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="639 1797 1146 1856">Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre</td> <td data-bbox="1146 1797 1297 1856">30 %</td> <td data-bbox="1297 1797 1411 1856">2</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Tipo de tratamiento	Eficiencia	Valor	Tratamiento Aguas Superficiales	Sin tratamiento	0	1	Tratamiento primario (fosa séptica)	35%	2	Tanque Imhof	50%	3	Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof	70%	4	Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida	90 al 100%	5	Disposición y manejo de desechos sólidos	Basureros al aire libre (basureros clandestinos) o baja eficiencia y cobertura en el sistema de recolección	0 %	1	Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre	30 %	2			
Componente	Tipo de tratamiento	Eficiencia	Valor																												
Tratamiento Aguas Superficiales	Sin tratamiento	0	1																												
	Tratamiento primario (fosa séptica)	35%	2																												
	Tanque Imhof	50%	3																												
	Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof	70%	4																												
	Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida	90 al 100%	5																												
Disposición y manejo de desechos sólidos	Basureros al aire libre (basureros clandestinos) o baja eficiencia y cobertura en el sistema de recolección	0 %	1																												
	Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre	30 %	2																												

		Sistema de recolección y relleno sanitario	50 %	3
		Sistema de recolección + clasificación + relleno sanitario	75 %	4
		Sistema de recolección + clasificación + compostaje+ relleno sanitario + Sistema de tratamiento de lixiviados	80 – 100 %	5
	Producción per cápita de desechos sólidos (kg/hab/día)	> 1.0	1	
		0.91 – 1.0	2	
		0.81 – 0.9	3	
0.51 – 0.8		4		
	< 0.5	5		
Limitaciones del indicador	No define la categorización de los mismos (peligrosos, reciclables, orgánicos, industriales, etc). Es necesario realizar muestreos de los vehículos que llevan la basura a los botaderos para estimar la cantidad producida por habitante.			
Captura de datos	Información obtenida de las Direcciones Municipales de Planificación			
Periodicidad	Cada dos años			

Anexo 4. Hoja metodológica para la estimación del indicador de cobertura forestal (ICF)

Nombre del indicador	Cobertura forestal	4/7																
Abreviatura																		
Definición breve	Proporción del municipio en porcentaje que se encuentra cubierto por bosque																	
U. de medida	Porcentaje																	
Pertinencia del indicador	Los bosques cumplen múltiples funciones ecológicas, socioeconómicas y culturales en muchos países. Proporcionan muchos recursos importantes, como los productos de la madera, y cumplen funciones significativas, ya que sirven de lugares de recreo, son hábitat de flora y fauna silvestres, ayudan a conservar el agua y el suelo, y actúan como filtro de contaminantes. Son base de empleo y usos tradicionales, así como de biodiversidad. Existe una preocupación generalizada por las consecuencias que para la salud de los bosques y la biodiversidad natural pueden tener las actividades humanas. En el Programa 21 se menciona específicamente la lucha contra la deforestación para conservar los suelos, el agua, el aire y la diversidad biológica.																	
Fórmula del cálculo	$\frac{\text{Superficie total de bosque en el municipio}}{\text{área total del municipio}} \times 100$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Unidad de medida</th> <th>Criterio</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Cobertura forestal</td> <td rowspan="5">% del área total del municipio</td> <td>1 – 20 %</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>21 – 35%</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>36 – 45 %</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>46 – 50%</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>> 50%</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor	Cobertura forestal	% del área total del municipio	1 – 20 %	1	21 – 35%	2	36 – 45 %	3	46 – 50%	4	> 50%	5
Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor															
Cobertura forestal	% del área total del municipio	1 – 20 %	1															
		21 – 35%	2															
		36 – 45 %	3															
		46 – 50%	4															
		> 50%	5															
Definición de las variables	Por cubierta forestal se entiende las tierras con una cubierta de copas de densidad igual o superior al 10% de la superficie; la plantación es la creación artificial de bosques mediante plantado o sembrado; y la categoría de bosques naturales abarca los bosques naturales y los seminaturales																	
Método de cálculo	Para la determinación de la cobertura forestal se procedió a utilizar el shape generado para el año 2010 a escala 1:50000, por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP), la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y la Universidad Rafael Landívar (URL). Al shape de municipios de Guatemala, se procedió a realizar un corte de la capa cobertura forestal, por medio de la herramienta de <i>geoproceso clip</i> , la cual seleccionó únicamente la cobertura forestal del área de estudio. Seguidamente a través del atributo que contenía la descripción de la cobertura forestal, la cual se																	

	<p>dividía en bosque de coníferas, bosque de latifoliadas y bosque mixto, se realizó una reclasificación del <i>shape</i>, con ello se obtiene dos tipos o clases que fueron: área con cobertura y área sin cobertura forestal. Al tener reclasificada la cobertura, se procedió a calcular el área forestal por medio de la herramienta Calculate Geometry, obteniéndose así el área en hectáreas.</p>
Limitaciones del indicador	<p>La cifra correspondiente a la superficie no proporciona información sobre la calidad de los bosques, los ecosistemas que éstos sustentan ni los valores o prácticas forestales. El indicador no facilita información sobre la degradación de los recursos forestales de un país. Aunque la superficie total de bosque de un país no varíe, la calidad de sus bosques puede degradarse</p>
Captura de datos	<p>Instituto Nacional de Bosques –INAB-, Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP, Universidad del Valle de Guatemala –UVG-</p>
Periodicidad	<p>Cada dos años</p>

Anexo 5. Hoja metodológica para la estimación del indicador de cobertura de áreas protegidas (ICAP)

Nombre del indicador	Cobertura de áreas protegidas	5/7																
Abreviatura	ICAP																	
Definición breve	Cobertura de las áreas protegidas en porcentaje reportadas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP)																	
Unidad de medida	Porcentaje																	
Pertinencia del indicador	El indicador representa la importancia que las áreas protegidas significan para la conservación de la biodiversidad, el patrimonio cultural, la investigación científica, recreación, mantenimiento de los recursos naturales, y otros servicios ambientales, y que están protegidas de usos incompatibles.																	
Fórmula del cálculo	<p>(Superficie total del área protegida en el municipio/área total del municipio) * 100</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Unidad de medida</th> <th>Criterio</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Cobertura áreas protegidas</td> <td rowspan="5">% del área total del municipio</td> <td>1 – 10%</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>11 – 20%</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>21 – 30%</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>31 – 40%</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>> 40%</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor	Cobertura áreas protegidas	% del área total del municipio	1 – 10%	1	11 – 20%	2	21 – 30%	3	31 – 40%	4	> 40%	5
Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor															
Cobertura áreas protegidas	% del área total del municipio	1 – 10%	1															
		11 – 20%	2															
		21 – 30%	3															
		31 – 40%	4															
		> 40%	5															
Definición de las variables	<p>Áreas protegidas son, de acuerdo al SIGAP, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéricos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores; de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas.</p>																	
Método de cálculo	<p>Para la determinación de la cobertura forestal se procedió a utilizar el shape generado para el año 2010, por el Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP), y la Universidad Rafael Landívar (URL). Este <i>shape</i> fue generado a una escala 1:50000, con el sistema de coordenadas GTM. Al shape de municipios de Guatemala, se procedió a realizar un corte de la capa de áreas protegidas, por medio de la herramienta de <i>geoproceso clip</i>, la cual seleccionó únicamente las áreas protegidas declaradas ante el SIGAP. Seguidamente a través del atributo que contenía la descripción de las áreas protegidas se realizó una reclasificación del <i>shape</i> con la que se obtuvo una clase que fue el área con cobertura por las áreas protegidas. Al Tener reclasificada las áreas protegidas, se procedió a calcular el área por medio de la herramienta Calculate Geometry, obteniéndose así el área en hectáreas.</p>																	


Limitaciones del indicador	El indicador no toma en cuenta áreas de propiedad privada que no hayan sido inscritas como una reserva natural privada, ante el SIGAP. El indicador representa la protección de derecho no de facto, de acuerdo a la información de SIGAP. El indicador no desagrega las áreas protegidas por categoría de manejo.
Captura de datos	Instituto Nacional de Bosques –INAB-, Consejo Nacional de Áreas protegidas –CONAP, Universidad del Valle de Guatemala –UVG- y la Universidad Rafael Landívar-URL-.
Periodicidad	Cada cuatro años

Anexo 6. Hoja metodológica para la estimación del indicador de presencia de flora endémica en las áreas protegidas (IFe)

Nombre del indicador	Indicador presencia de flora endémica.	6/7																
Abreviatura	IFe																	
Definición breve	Es la valoración de la presencia de la flora endémica (en número de especies), en las áreas protegidas declaradas en el SIGAP.																	
Unidad de medida	Número de especies de flora endémica presentes en el área protegida.																	
Pertinencia del indicador	De acuerdo al <i>Análisis de la biodiversidad en Guatemala</i> , realizado por el proyecto de fortalecimiento institucional en Políticas Ambientales (FIPA) en el 2002 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009), Guatemala ha sido identificado como parte de los puntos del planeta más ricos en diversidad biológica y que a la vez se consideran altamente amenazados. Esto lo define como uno de los puntos prioritarios para la conservación de la biodiversidad.																	
Fórmula del cálculo	<p>La valoración de este indicador se realizó en función del número de especies de flora endémica en el área protegida, de acuerdo al siguiente</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Unidad de medida</th> <th>Criterio</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Flora endémica en el área protegida</td> <td rowspan="5">No. de especies</td> <td><5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6 – 10</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>11 - 15</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>16 – 20</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>> 20</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p>criterio:</p>		Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor	Flora endémica en el área protegida	No. de especies	<5	1	6 – 10	2	11 - 15	3	16 – 20	4	> 20	5
Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor															
Flora endémica en el área protegida	No. de especies	<5	1															
		6 – 10	2															
		11 - 15	3															
		16 – 20	4															
		> 20	5															
Definición de las variables	Una especie endémica es aquella que se distribuye en un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en otras partes del mundo. El endemismo, por lo tanto, refiere a una especie que sólo puede encontrarse naturalmente en un lugar.																	
Método de cálculo	Información del CONAP.																	
Captura de datos	Reporte del SIGAP, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).																	
Periodicidad	Cada dos años.																	

Anexo 7. Hoja metodológica para la estimación del indicador de estado evolutivo de las áreas protegidas (IEe)

Nombre del indicador	Indicador del estado evolutivo de las áreas protegidas	7/7												
Abreviatura	IEe													
Definición breve	<p>El estado evolutivo de las áreas protegidas, se relacionó con la sucesión ecológica (proceso de auto organización de un ecosistema, con ciertos niveles de homeostasis y homeorresis). Las etapas de la sucesión ecológica se pueden categorizar en:</p> <p>Etapas iniciales o de constitución (dominadas por especies de las que en el lenguaje ecológico y evolutivo se llaman pioneras, oportunistas, desde el punto de vista de sus requerimientos de recursos y con una estrategia reproductiva basada en la producción de muchos descendientes limitadamente viable).</p> <p>Etapas secundarias: se da en comunidades que han sufrido algún tipo de disturbio (campos de cultivos abandonados, bosques deforestados y bosques incendiados).</p> <p>Etapas intermedias, o de maduración.</p> <p>Etapas finales, que concluyen cuando se alcanza el clímax, caracterizada por especies especialistas, en cuanto al uso de recursos, y con baja tasa de reproducción.</p>													
Unidad de medida	Adimensional													
Pertinencia del indicador	Una sucesión ecológica consiste en el proceso de cambio que sufre un ecosistema en el tiempo, como consecuencia de los cambios que se producen tanto en las condiciones del entorno como en las poblaciones que lo integran, dando lugar a un ecosistema cada vez más organizado y complejo. Los ecosistemas con etapas seriales avanzadas, posee condiciones estables y de equilibrio entre sus componentes, lo que garantiza mayor seguridad a la biodiversidad, así como la prestación de servicios ambientales.													
Fórmula del cálculo	<p>Los criterios son:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Unidad de medida</th> <th>Criterio</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Estado evolutivo del área protegida</td> <td rowspan="3">Etapas seriales</td> <td>Inicial</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Intermedia</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Clímax</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor	Estado evolutivo del área protegida	Etapas seriales	Inicial	1	Intermedia	3	Clímax	5
Componente	Unidad de medida	Criterio	Valor											
Estado evolutivo del área protegida	Etapas seriales	Inicial	1											
		Intermedia	3											
		Clímax	5											
Definición de las variables	La evolución natural que tiene lugar en un ecosistema de acuerdo con su propia dinámica interna se llama sucesión ecológica. El proceso de sucesión conduce a un ecosistema más estable y resistente, lo que se ha descrito como un proceso de maduración. En cada estado la complejidad de la													

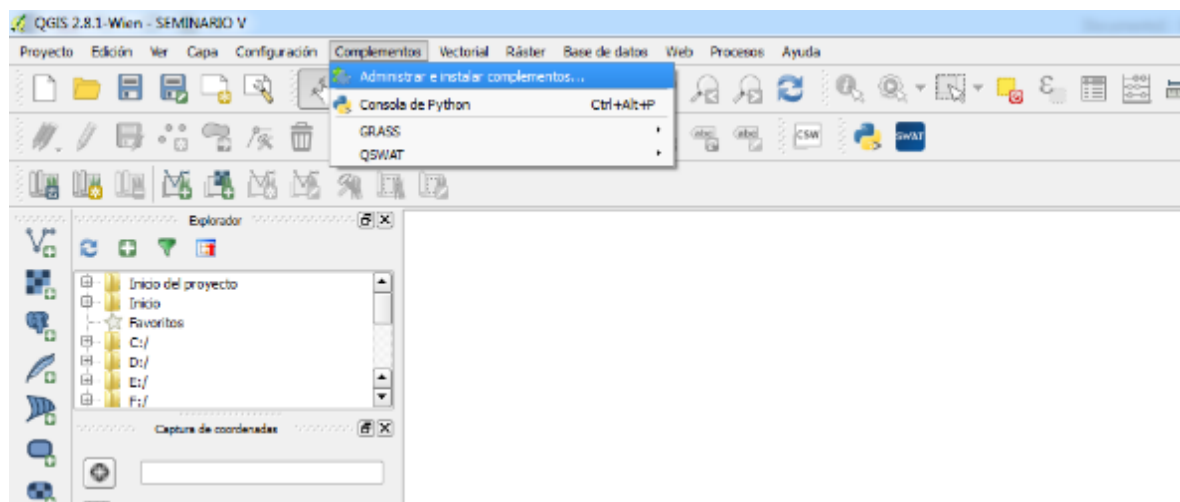
	<p>estructura de la vegetación aumenta. Por la misma razón, la estabilidad del suelo, la profundidad y la biodiversidad también aumentan. El estado óptimo hacia el que las etapas sucesivas se desarrollan se conoce como etapa clímax. La transformación de la cubierta vegetal original del terreno en plantas, arbustos y árboles más diversos que producen sombra, ocurre en etapas sucesivas a través del tiempo a medida que las plantas compiten por luz, agua, nutrientes y espacio. Con el tiempo, las plantas poco tolerantes a la sombra cederán su lugar a árboles de copa más alta y a plantas tolerantes a la sombra en un proceso conocido como sucesión de etapa seriales.</p>
<p>Método de cálculo</p>	<p>Los criterios para definir las etapas serial son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etapa Inicial: Pastizales o vegetación baja; árboles bajos y arbustos pequeños • Etapa Intermedia: árboles diversos, sotobosque con arbustos y especies herbáceas. • Etapa Clímax: bosque secundario con diversidad de doseles, presencia de plantas epífitas, líquenes, etc.  <p>El diagrama ilustra la sucesión de etapas seriales en tres fases: INICIAL, INTERMEDIA y CLIMAX. La etapa INICIAL muestra una vegetación baja y dispersa. La etapa INTERMEDIA muestra árboles más altos y diversos. La etapa CLIMAX muestra un bosque secundario con árboles muy altos y una gran diversidad de especies.</p>
<p>Captura de datos</p>	<p>Visita de campo a las zonas núcleo de las áreas protegidas declaradas en el SIGAP.</p>
<p>Periodicidad</p>	<p>Cada dos años.</p>

Anexo 8. Proceso de digitalización a partir de imágenes de Google Earth

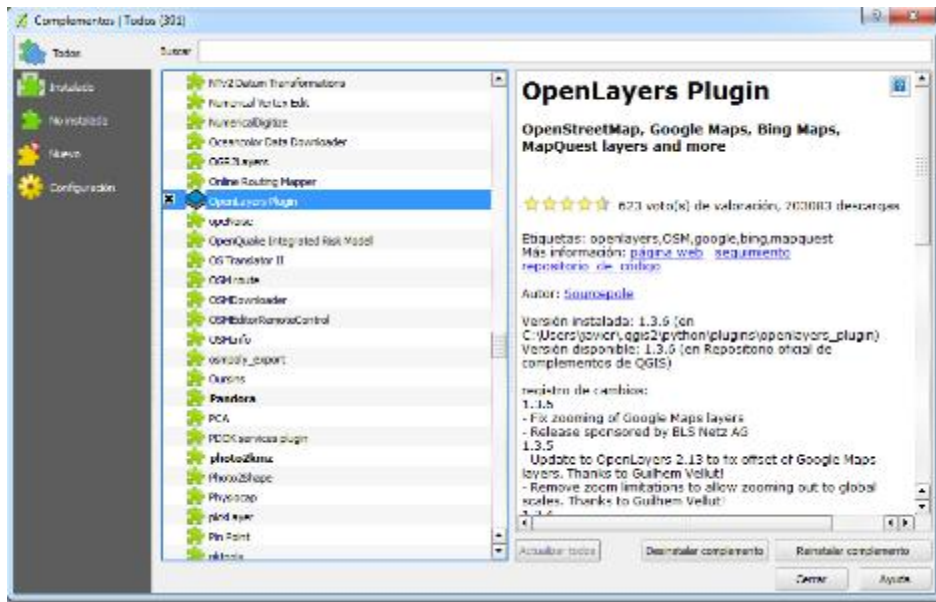
La digitalización de polígonos, puntos o líneas; a partir de imágenes de google earth, es una herramienta que permite adquirir información puntual de sitios a los que no necesariamente se tiene acceso, sin embargo es importante mencionar que nada reemplaza el conocimiento que se tenga del área, pues el conocimiento de la misma permite identificar mejor las áreas a digitalizar.

Para realizar esta práctica es necesario contar con conexión a internet y el software GIS QGIS, el cual es de uso gratuito, o licencia OPL. Puede descargarse del sitio: <http://www.qgis.org/es/site/>

Luego de la descarga e instalación del software es necesario instalar en el mismo un *plugin* llamado OPENLAYER, como lo muestra la siguiente imagen.



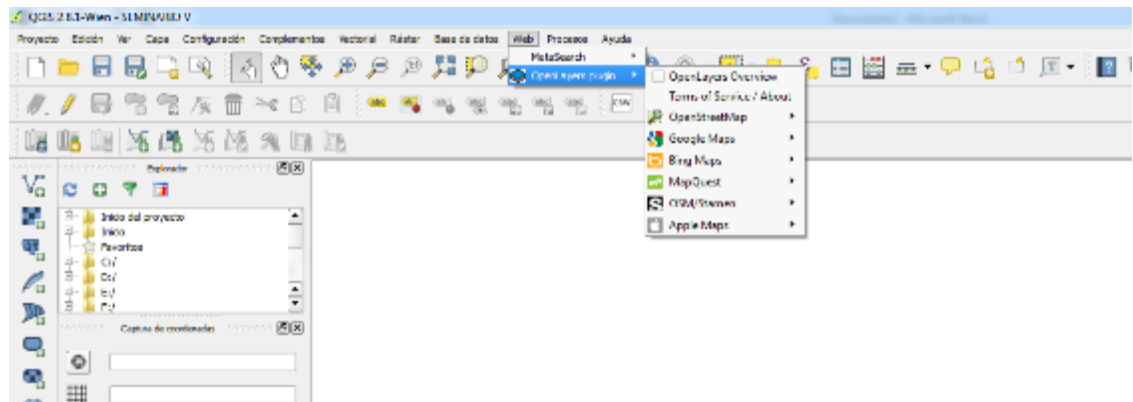
En la barra de menú se selecciona la opción complementos, se abre un submenú como el siguiente:



De las opciones que aparecen se selecciona OPENLAYER PLUGIN

HABILITACIÓN DE OPEN LAYER

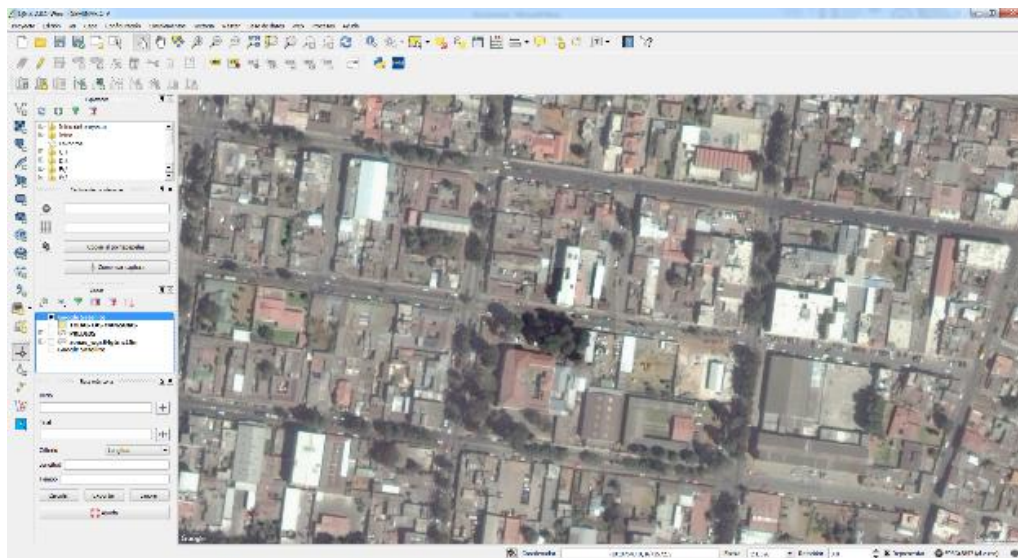
1. Se debe de ingresar una coordenada o archivo shape con la ubicación a digitalizar.



2. En la opción de menú-web-OpenLayers plugin se selecciona el servicio que mejor funcione, para el presente se seleccionó la opción de google Maps



Esta acción despliega el mapa siguiente:

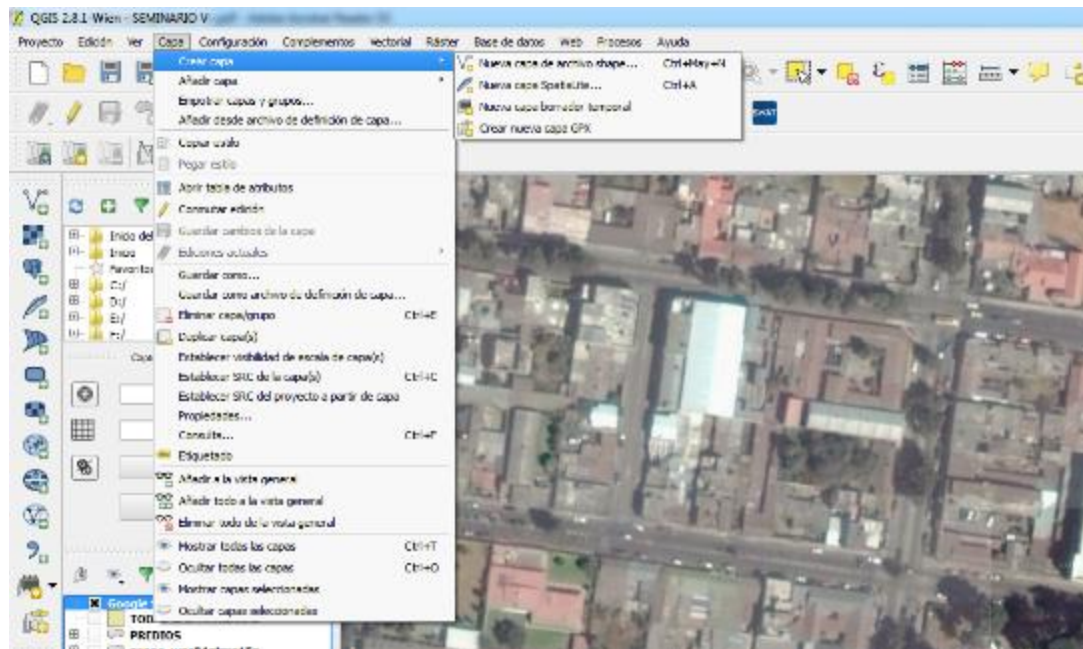


Como se puede observar el detalle de la imagen es de una resolución de 1:1,526 lo que permite diferenciar áreas como bosques, ríos, caminos o edificios.

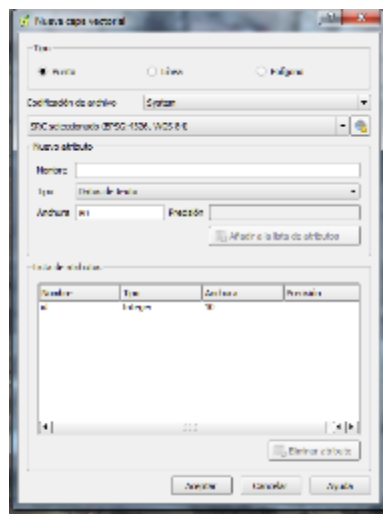
A partir de este procedimiento se puede iniciar la digitalización

Para comenzar con la digitalización:

CAPA-CREAR CAPA-NUEVA CAPA DE ARCHIVO SHAPE, como se muestra en la ilustración



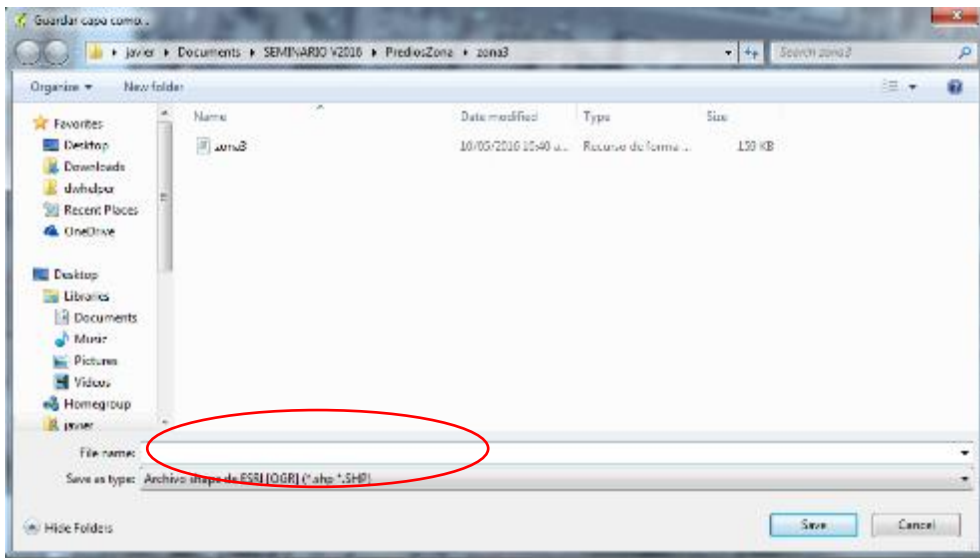
Posteriormente aparece el siguiente submenú



En el cual se selecciona Punto, Línea o Polígono.

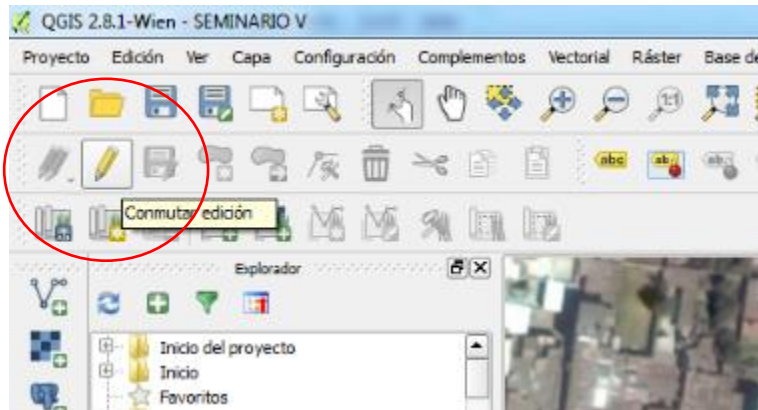
En la opción nuevo atributo, seleccionar un nombre y tipo para el atributo por ejemplo si fueran nombres de tiendas se escribe en la casilla en blanco nombre, se selecciona el tipo de dato a ingresar y se presiona la opción añadir atributos.

Luego de dar clic en aceptar aparecerá el menú siguiente en el que el programa pide que se le indique cuál será el nombre de la capa a crear como aparece a continuación

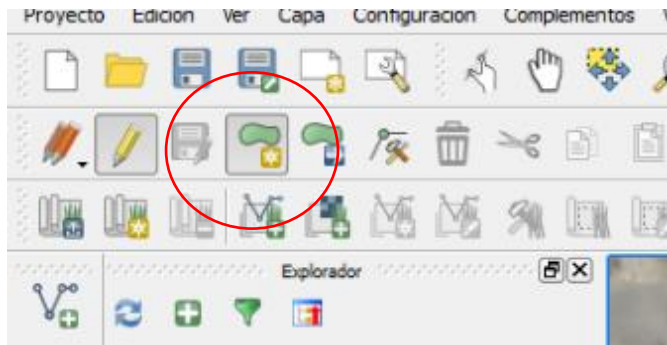


En donde se indica se ingresa el nombre de la capa a digitalizar

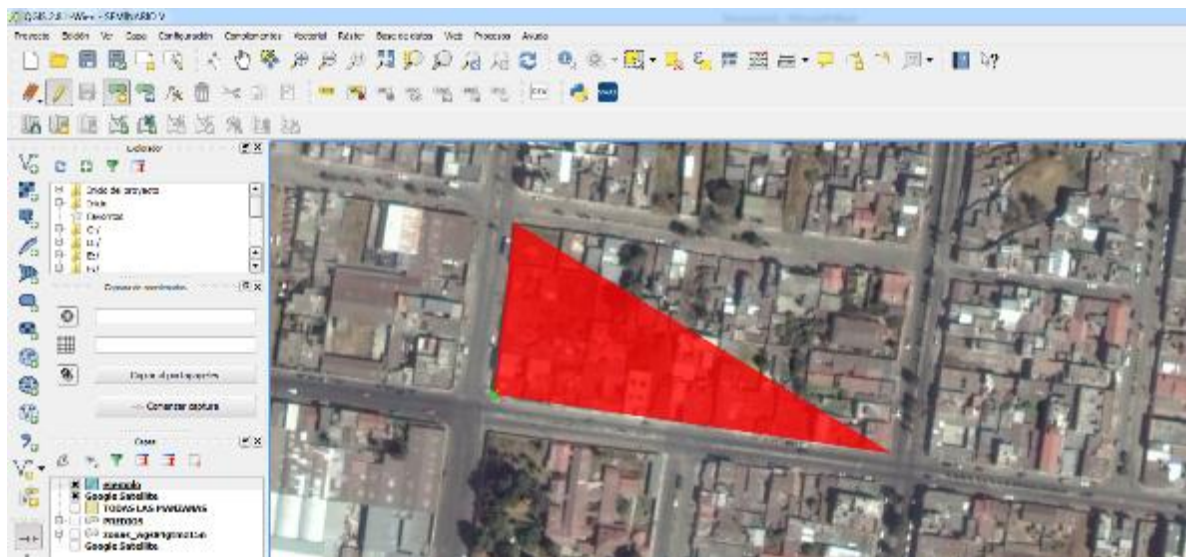
Por último para empezar el proceso de digitalización seleccionamos la opción conmutar edición como se muestra en la gráfica siguiente:



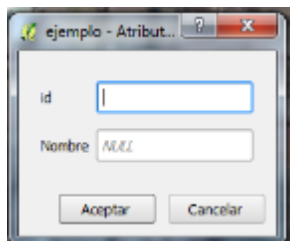
Esta opción permitirá que se habilite todo el menú de edición, posteriormente se selecciona la opción de agregar objeto espacial como se muestra en la gráfica siguiente:



Esto nos permite iniciar con el proceso de digitalización como se muestra a continuación:

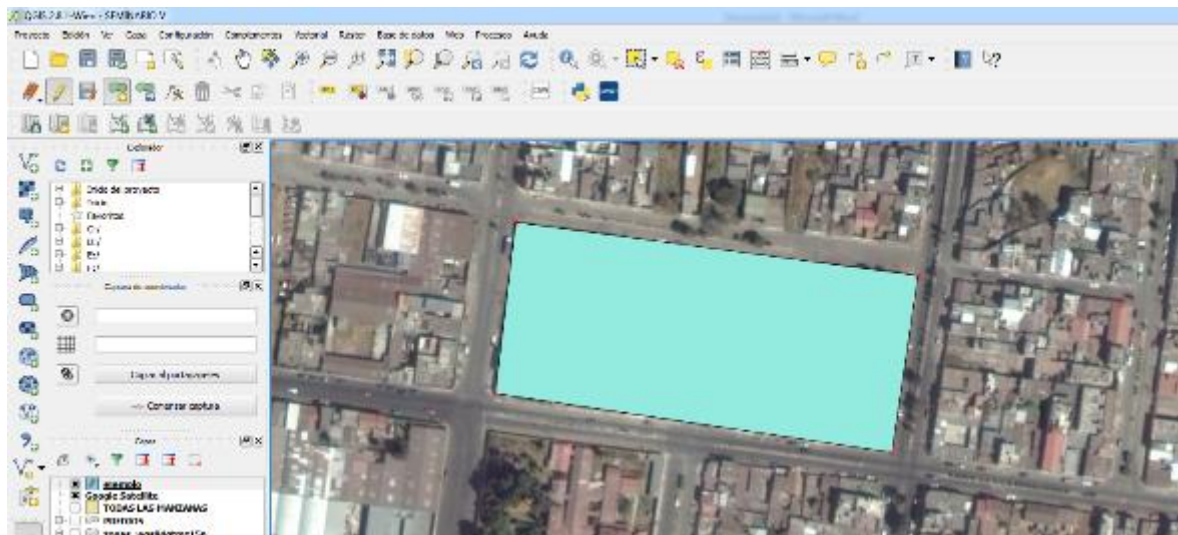


Para concluir con el objeto ingresado se debe presionar el clic derecho del mouse lo que abre el menú siguiente:



En donde se identifica el objeto espacial ingresado al programa

Como resultado se obtiene el objeto digitalizado en la nueva capa como se muestra a continuación



El procedimiento es el mismo para los otros tipos de objetos espaciales, puntos o líneas.

Anexo 9. Modelo de cuestionario del método Delphi

A continuación se presentan 7 indicadores ambientales, los que debe calificar en un rango de 1 a 5, donde 1 es muy mala calificación y 5 una calificación excelente:

Indicador	Ponderación				
	1 Muy mala	2 Mala	3 Media	4 Buena	5 Excelente
Conflicto de uso del territorio					
Calidad del agua superficial					
Disponibilidad de agua por habitante					
Calidad del paisaje					
Potencial edafológico					
Potencial de recarga hídrica					
Calidad del aire					
Gestión de residuos					
Cobertura forestal					
Extensión de las áreas protegidas					
Presencia de flora endémica en las áreas protegidas					
Presencia de fauna endémica en las áreas protegidas					
Estado evolutivo de las áreas protegidas					

Anexo 10. Resultados de los muestreos de agua en los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de los Altos

San Mateo											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Coliformes Totales	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Zona 4 San Mateo Posito No. 1	Nacimiento	7.22	18.3	96.5	15	230.3	0.14	3.8	0.70	2	10
Zona 4 San Mateo Posito No. 2	Nacimiento	7	18.5	90.6	0	388.5	0.12	1.9	0.59	1	2
Río Xequijel Entrada	Río	7.42	21.8	31.9	364,000	308	3.51	5.9	46.58	75	115
Río Xequijel Salida	Río	7.36	21.4	42.8	413,500	360.5	2.5	3.7	49.04	81	108

La Esperanza											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Coliformes Totales	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Nacimiento 3, Santa Rita	Nacimiento	7.44	16.3	83.4	60	93.45	0.15	1	0.21	1	4
Nacimiento 7, Santa Rita	Nacimiento	7.47	16.4	81	97	90.93	0.14	1	0.32	2	8
Nacimiento 5, Santa Rita	Nacimiento	7.61	16.8	68	1084	89.53	0.13	1.3	0.24	5	12
Nacimiento 15, Santa Rita	Nacimiento	7.17	16.3	75.7	17	103.81	0.28	1	0.27	1	2
Nacimiento 12, Santa Rita	Nacimiento	7.35	16.5	79.6	14	94.01	0.17	0.9	0.12	2	6
Nacimiento 13, Santa Rita	Nacimiento	7.24	16.5	81.5	813	96.11	0.15	0.9	0.25	5	10
Nacimiento 8, Santa Rita	Nacimiento	7.42	16.4	96.96	0	91.49	0.14	0.8	0.31	0	2
Nacimiento 10, Santa Rita	Nacimiento	7.45	17.2	70.7	1040	96.11	0.27	0.9	0.15	6	12
Nacimiento 2, La Emboscada	Nacimiento	7.8	18.6	85.4	14	111.79	0.27	0.8	4.72	1	7
Nacimiento 3, La Emboscada	Nacimiento	6.88	17.7	71.57	79	82.39	0.23	0.2	1.47	2	8
Nacimiento 1, Los Encantos	Nacimiento	7.32	20	85	408	104.09	0.22	0.4	0.46	5	11
Nacimiento 11, Santa Rita	Nacimiento	7.45	16.8	54.33	400	95.41	0.16	0.8	0.18	4	10
Nacimiento 0, Santa Rita	Nacimiento	7.41	16.4	73.7	118	96.39	0.19	0.9	0.21	2	5

Olintepeque											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Coliformes Totales	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Chuabaj	Nacimiento	7.25	17.9	80.25	99	146.58	0.29 mg/l	3.9	6.54	2	5
Chopop abaj	Nacimiento	7.13	18.2	85.9	261	123.2	0.23 mg/l	4.7	0.98	5	11
Vivero forestal (Barrio Nuevo)	Nacimiento	7.63	18.7	80.51	460	113.68	0.21 mg/l	0.4	1.92	6	12
Catarata Pachaj	Corriente	7.97	18.3	103	29	81.9	0.28 mg/l	2.5	2.1	1	4
San Isidro 1	Nacimiento	6.89	18.5	96.19	0	111.79	0.28 mg/l	0.8	0.82	0	4
San Isidro 2	Nacimiento	6.8	19.8	80.2	4	87.85	0.21 mg/l	0.4	0.68	1	5
Villa Luz (Area Urbana)	Nacimiento	7.06	22.1	104.3	0	109.13	0.21 mg/l	1.9	3.23	0	3
Río Xequijel											
Entrada Olintepeque	Río	7.73	24.6	57.53	425,100	147.91	0.42 mg/l	0.9	12.29	49	67
Salida Olintepeque	Río	7.67	23.3	44.68	495,000	176.4	0.69 mg/l	1.5	6.43	55	73

Quetzaltenango											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Coliformes Totales	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Xequijel (entrada Quetzaltenango), C	Río	7.67	23.3	44.69	495,000	176.4	0.69	1.5	4.72	60	78
Confluencia Xequijel-Samalá, Las ros	Río	7.6	20.4	34.4	560,000	191.1	1.37	1.9	30.11	108	135
Samalá (Inicio Quetzaltenango)	Río	7.59	21.3	49.89	180,000	112.49	0.46	1.5	6.98	55	70
Samalá (Salida Quetzaltenango)	Río	7.57	21.6	44.69	378,560	159.6	0.84	1.7	8.44	65	84

Salcajá											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Coliformes Totales	Sólidos Disueltos Totales	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
La Laguneta	La Laguneta	8.04	19	71.17	1,500	139.72	0.43Mg/l	1.3Mg/l	10.95	40	70
Río Samala											
Entrada	Río Samala	7.67	19.5	38.04	145,000	105.28	0.41Mg/l	1.4Mg/l	7.13	52	65
Salida	Río Samala	7.59	19.9	34.73	180,000	112.49	0.46Mg/l	1.5Mg/l	6.82	58	74

Cantel											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Ígido Disue	bliformes Total	idos Disueltos Total	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Caja de Pachaj, Paraje Chicruz, Pachaj	Nacimiento	7.22	16.2	84.1	0	518	0.23	2.7	0.43	0	1
Riachuelo Pachaj, Paraje Chicruz, Pachaj	Riachuelo	7.42	16.2	71.1	473	490.7	0.43	1.5	6.25	4	10
Choquiatic, Xecam, Chopop, Abaj	Nacimiento	6.81	21.6	63.7	2000	326.2	0.43	0.6	0.26	7	18
Pachaj, Xecam, Chopop, Abaj	Nacimiento	6.8	21.2	52.4	1350	327.6	0.26	0.5	0.18	5	15
Zona 2 Xecam, Xecam, Chij	Nacimiento	7.11	21.7	81.7	308	252.7	0.25	1.1	0.27	2	6
Caja #5, Sanjup	Nacimiento	7.23	21.3	84.3	145	287	0.35	0.8	0.83	2	5
La Estancia, Xeul	Nacimiento	7.11	21.4	81.9	23	330.4	0.65	0.7	0.24	1	4
La Estancia, Xeul	Nacimiento	7.17	17.9	80.3	25	240.1	0.35	1.2	0.34	1	4
Pachaj, Xecam, Chopop, Abaj	Nacimiento	7.15	21.8	82.9	439	330.4	0.22	0.7	0.21	3	8
Chiriquiatic, Xecam, Chopop, Abaj	Nacimiento	7.08	21.5	65.2	1030	310.1	0.34	0.7	0.32	5	14
Chiriquiatic Xolquiatic	Nacimiento	7.28	17.3	73.7	60	283.5	0.37	0.7	0.46	2	4
Chuisuc, Xecam, Chopop, Abaj	Nacimiento	6.95	22	99.3	1	331.8	0.69	0.9	0.28	0	2
Fabrica 1, Pasac I, Fabrica de Cantel	Nacimiento	7.23	16.8	78.8	96	337.4	0.51	0.9	0.26	3	12
Urbina, Xejuyub, Urbina 2	Nacimiento	7.43	15.7	71.3	189	244.3	0.33	0.9	0.39	3	8
Urbina, Xejuyub, Urbina 1	Nacimiento	7.01	15.5	99.8	0	242.9	0.32	0.7	0.38	0	2
Fabrica 2, Pasac I, Fabrica de Cantel	Nacimiento	7.39	18	90.8	35	344.4	1.63	1.6	0.29	2	7
Parracana, Xecam	Riachuelo	8.03	15.1	67.6	520	331.8	0.72	0.5	6.83	4	10
Paxilin, La Estancia	Nacimiento	6.75	16.7	77	98	588	0.23	1.5	0.33	2	6
Xoljuyub, Pasac I, Fabrica, Cantel	Riachuelo	7.72	16.7	52.4	3500	477.4	0.51	2.6	7.76	9	20
Rio Samala Entrada	Rio	7.57	21.6	44.7	378,560	159.6	1.7	0.083	9.26	70	95
Rio Samala Salida	Rio	8.03	18	40.2	331,240	138.6	1.6	0.1	12.21	68	88

Almolonga											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Ígido Disue	bliformes Total	idos Disueltos Total	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Nacimiento, Aldea Las Delicias	Nacimiento	7.92	16.1	90.2	0	61.46	0.29	1.6	0.28	0	1
Nacimiento, Aldea Las Delicias	Nacimiento	8.01	16	92.6	8	60.83	0.3	1.3	0.209	1	3
Nacimiento, Aldea Pacajá	Nacimiento	7.39	17.6	79.5	60	74.2	0.31	2	2.508	1	5
Riachuelo, Cantón Chinima	Riachuelo	8.09	17.2	65.6	21800	69.51	0.67	1	11.61	8	17
Riachuelo, Cantón Los Chorros	Riachuelo	8.22	20	71.8	18400	141.54	1.35	3.1	3.62	7	14
Riachuelo, Cantón Solswana	Riachuelo	8.34	20.1	66.2	10200	84.49	1.02	1.3	0.88	7	16
nacimiento, Zona La Esperanza	Nacimiento	7.9	20.7	83.8	7	73.15	0.25	1.5	0.21	1	4
Riachuelo, Aldea Los Baños	Riachuelo	8.84	21.32	57.4	18050	105.56	1.79	2.6	7.12	9	16

ZUNIL											
Referencia	Punto de Muestra	pH	Temperatura	Ígido Disue	bliformes Total	idos Disueltos Total	Fosfatos	Nitratos	Turbidez	DBO	DQO
		Escala	°C	%	UFC	PPM	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l
Río Samalá, Aldea chicovix	Río	8.03	18	63.9	331,240	139.09	0.43	1.6	11.2	64	84
Río Samalá, Aldea Estancia de la Cruz	Río	7.88	18.5	62.3	516,880	184.1	0.67	1.6	10.94	89	114
Nacimiento de agua I, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.18	18.2	102.4	0	93.31	0.32	0.6	0.62	0	1
Nacimiento de agua II, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.07	18.1	98.7	0	91.49	0.79	0.6	0.21	0	2
Nacimiento de agua III, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.24	18.1	100	0	87.64	0.28	0.7	0.325	0	1
Nacimiento de agua IV, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.09	18.03	101	0	92.05	0.28	0.7	0.23	0	2
Nacimiento de agua V, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.03	18.4	97.2	0	90.93	0.3	0.9	0.23	0	1
Nacimiento de agua VI, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.15	18.15	99.1	0	85.61	0.31	0.83	0.143	0	2
Nacimiento de agua VII, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.22	18.2	99.7	0	89.32	0.19	0.8	0.2	0	3
Nacimiento de agua VIII, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.2	18.2	99.3	0	89.32	0.27	0.85	0.2	0	2
Nacimiento de agua Xetanatic I, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.14	11.6	93.9	0	95.9	0.23	1.2	0.182	0	2
Nacimiento de agua Xetanatic II, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.22	11.7	91.2	0	99.05	0.23	1	0.13	0	1
Nacimiento de agua Xetanatic III, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.98	12	83.3	0	98.7	0.21	0.9	0.15	0	1
Nacimiento Xecampana I, Aldea Chuimucubal	Nacimiento	7.23	14.8	87.1	0	92.26	0.2	0.8	0.21	0	2
Riachuelo, Aldea Chuimucubal	Riachuelo	8.29	16.5	82.9	19	95.2	0.19	1	0.66	1	5

