

**INTEGRIDAD ECOLOGICA DE LA LAGUNA SAN RAFAEL PARQUE
NACIONAL NATURAL PURACÉ, CAUCA**

DIEGO IVAN IMBACHI ZAMBRANO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2014**

**INTEGRIDAD ECOLOGICA DE LA LAGUNA SAN RAFAEL PARQUE
NACIONAL NATURAL PURACE, CAUCA**

DIEGO IVAN IMBACHI ZAMBRANO

Trabajo de Grado como requisito parcial para optar al título de Biólogo

Director

APOLINAR FIGUEROA CASAS, Biólogo Ph.D

Asesora

MONICA PATRICIA VALENCIA ROJAS, Bióloga.

Cand. Ph.D. Ciencias Ambientales

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2014**

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme una segunda oportunidad de vida, guiarme por el camino de la sabiduría y cumplir uno de mis sueños.

A mis padres, por su gran apoyo incondicional y amor.

A mis tías, primas y demás familiares, por ayudarme y brindarme todo su apoyo durante el desarrollo de mi carrera.

A Diana Liceth Grijalba, por darme su cariño, amor y poder compartir mi vida al lado de nuestro hijo Juan Diego Imbachi

Al profesor Apolinar Figueroa Casas. Director de este trabajo, por su confianza, consejos y apoyo durante mi formación académica y el desarrollo de mi trabajo de grado.

A Mónica Patricia Valencia Rojas. Asesora de este trabajo, por su confianza, infinita paciencia, buenos consejos y compartirme su conocimiento, para el buen desarrollo de esta propuesta de investigación.

Al profesor, profesora e investigador, Gabriel Pinilla, Constanza Ricaurte, Ortega Lara. Gracias por brindarme parte de su tiempo, colaboración, asesoría externa, compartir su conocimiento y criterio como investigadores.

A mis grandes amigos, Eliza Ordoñez, Paula Sofía Vargas, Esmeralda Casilimas, Lina Sánchez, Santiago Valencia, Robinson Lizcano, Cristian Vidal, Jorge Becoche y Vianny Plaza, por brindarme su sincera amistad, y compartir gratos momentos durante toda la carrera.

A los integrantes del Grupos de Estudios Ambientales (GEA), en especial a Mónica Patricia Valencia, Juan Pablo Martínez, Fernando Felipe Muñoz, Dayan Gonzales, Miller Guzmán, Samir Joaqui y Margarita Salazar por sus aportes y colaboración durante mi proceso en el énfasis y desarrollo de mi trabajo de grado.

A cabildo indígena de Puracé, especialmente a los señores Gregorio y Willian por su colaboración como guía en las salidas de campo.

A la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales UAESPNN, Parque Nacional Natural Puracé PNNP.

Al departamento de Biología, laboratoristas y personal técnico.

A la unidad de análisis industriales departamento de Química, por el préstamo de elementos.

Al profesor Nelson Rojas, por su tiempo y colaboración en las mediciones de clorofila *a*.

A Diego Lara, por su colaboración en el componente de SIG.

A los jurados, por sus aportes y observaciones.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1 INTRODUCCIÓN	2
2 JUSTIFICACIÓN	4
3 MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 Páramos de Colombia.....	6
3.2 Integridad Ecológica.....	7
3.2.1 Integridad Ecológica en Áreas Protegidas – Laguna San Rafael.....	8
3.2.2 Cultura y Sociedad aledañas a la laguna de San Rafael	10
3.2.3 Sistemas Socio Ecológicos	11
3.3 Lagunas de Paramó y Parámetros Hidrobiológicos.....	13
3.3.1 Calidad de Agua.....	14
4 ANTECEDENTES	16
4.1 Modelos de integridad Ecológica y Su aplicación	17
4.2 Integridad Ecológica en Colombia	20
4.2.1 Sector San Rafael PNN Puracé	21
5 OBJETIVO GENERAL	23
5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
6 METODOLOGÍA	24
6.1 Descripción del área de estudio	24
6.2 Factor Sociocultural	26
6.3 Método de muestreo Factor Hidrológico.....	26
6.4 Factor Hidrológico.....	27
6.4.1 Parámetro Hidráulico.....	27
6.4.2 Productividad Primaria	28
6.4.3 Conversión de Oxígeno a Carbono	29

6.4.4	Clorofila α	30
6.4.5	Parámetros Fisicoquímicos del Agua	32
6.5	Factor Morfológico	33
6.6	Análisis de datos	33
6.6.1	Evaluación de la Integridad Ecológica	34
7	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
7.1	Observaciones de la zona de estudio	37
7.2	Factor Sociocultural y Cartografía Social	38
7.2.1	Periodo 1945 – 2009.....	38
7.2.2	Periodo 2009 – 2012.....	39
7.2.3	Periodo 2013 – 2020.....	39
7.2.4	Cartografía Social	40
7.3	Factor Hidrológico.....	44
7.3.1	Profundidad y Penetración lumínica	44
7.3.2	Análisis Estadísticos	46
7.3.3	Productividad Primaria	48
7.3.4	Clorofila α	51
7.3.5	Fisicoquímica del Agua	53
7.3.6	Eutrofia de la Laguna de San Rafael.....	58
7.3.7	Aforo de Caudal	60
7.4	Factor Morfológico	61
7.5	Indicadores Socioculturales que afectan la laguna de San Rafael	62
7.5.1	Matriz de Influencias Dependencias.....	63
7.6	Determinación de la Integridad Ecológica en la laguna de San Rafael	68
7.6.1	Valores objeto de conservación	68
7.6.2	Integridad Ecológica de la Laguna San Rafael.....	70

8 CONCLUSIONES	74
9 RECOMENDACIONES	76
10 BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes Integridad Ecológica	18
Tabla 2. Conversión de oxígeno liberado a carbono fijado	30
Tabla 3. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua.	32
Tabla 4. Parámetros Fisicoquímicos	33
Tabla 5. Descripción de las escalas de clasificación empleadas para los indicadores y elementos de conservación.....	35
Tabla 6. Valor de Integridad Ecológica para el área protegida de acuerdo al promedio obtenido en la evaluación de los elementos de conservación.	36
Tabla 7. Valores productividad primaria bruta durante los periodos de muestreo ...	49
Tabla 8. Relación Valores de pH - Disociación del Nitrógeno	58
Tabla 9. Valores promedios, estimados para la Clorofila α mg/m ³ e Índice de Estado Trófico	59
Tabla 10. Aforo de caudal quebrada Chorrillos y río Bedón	60
Tabla 11. Matriz de Influencias - Dependencias.....	65
Tabla 12. Valores Objeto de Conservación - Integridad Ecológica.....	68
Tabla 13. Evaluación de variabilidad de los objetos de conservación en la laguna San Rafael – Integridad Ecológica	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto de un mosaico del paisaje de páramo antropizado o transformado por las actividades sociales y culturales.....	12
Figura 2. Área de Estudio Laguna San Rafael.....	25
Figura 3. Puntos de Muestreo Laguna de San Rafael.....	27
Figura 4. Mapa Historia Ambiental Periodo 1945 – 2009	41
Figura 5. Mapa Historia Ambiental Periodo 2009 – 2012	41
Figura 6. Mapa Historia Ambiental Futuro 2020	42
Figura 7. Distribución botellas Winkler - Método botellas claras y oscura	45
Figura 8. Conductividad vs Solidos Disueltos	47
Figura 9. Solidos Disueltos Totales vs Oxígeno Disuelto	47
Figura 10. Gráfico de Saturación de Oxígeno vs Clorofila α	48
Figura 11. Comportamiento temporal de la producción primaria.....	49
Figura 12. Valores de Nitratos, Fosfatos y Conductividad vs Carbono Fijado	51
Figura 13. Valores promedios de clorofila α	52
Figura 14 Productividad Primaria Bruta – Físicoquímica	57
Figura 15. Fotografías Aéreas Laguna de San Rafael	62
Figura 16. Plano Influencias vs Dependencias.....	66
Figura 17. Grado de Dependencia Indicadores de Primer Nivel.....	67

ANEXOS

Anexo 1. Georreferenciación puntos de muestreo.	87
Anexo 2 Taller cabildo indígena Puracé, mesas de trabajo temporalidades a, b, c.	88
Anexo 3. Cartografía Social temporalidades, a, b, c, d.....	89
Anexo 4. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs meses de muestreo.	90
Anexo 5. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs puntos de muestreo.	91
Anexo 6. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs profundidad.	92
Anexo 7. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs intensidad lumínica.....	93
Anexo 8. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs meses.....	94
Anexo 9. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs puntos.....	95
Anexo 10. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs profundidad.	96
Anexo 11. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs intensidad lumínica.....	96
Anexo 12. Análisis Correlación Spearman.....	97
Anexo 13. Valores promedio fisicoquímica del agua durante los meses de muestreo.	99
Anexo 14. Valores Promedios Fisicoquímica en los puntos, durante los meses de muestreo.....	101
Anexo 15. Cambios y comportamiento del área, caudal y morfología de la Quebrada Chorrillos, durante los periodos de muestreo.	105
Anexo 16. Cambios y comportamiento del área, caudal y morfología del Río Bedón, durante los periodos de muestreo.....	106
Anexo 17. Fotografías factores antrópicos en la laguna San Rafael, a, b, c.....	107

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos continentales ubicados en el Páramo, presentan graves perturbaciones antrópicas a través de actividades como la quema de la vegetación, contaminación por uso de agroquímicos, actividades mineras, introducción de fauna íctica y acción de “deseccamiento” a través de la construcción de canales de drenaje para ampliar el área de producción agrícola y ganadera. Adicionalmente, en algunas zonas altoandinas del departamento del Cauca existen cultivos ilícitos que generan problemas ambientales, sociales y de gobernanza, afectando a la población civil.

El presente estudio se realizó en la laguna de San Rafael, ubicado al Nor-Oriente del Parque Nacional Natural Puracé, en el Municipio de Puracé, departamento del Cauca. Con el fin de determinar su integridad ecológica considerando la interacción de diferentes factores como el hidrológico, morfológico y sociocultural.

Para el factor sociocultural se realizó un taller de historia ambiental con la comunidad en el resguardo de Puracé con el fin de tener una perspectiva sobre las actividades espacio temporales para los años 1950 – 1990, 1990 – 2002 y una visión a futuro 2011 – 2020, esta información fue plasmada en cartografía social y posteriormente fue digitalizada. Para el factor hidrológico se evaluó el estado trófico teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, clorofila a, productividad primaria. La morfología se analizó con ayuda de un sistema de información geográfica (SIG) sobre fotografías aéreas en formato Tiff para identificar dinámicas y cambios en el espejo de agua para los años 1965, 1979, 1987, 1991 y una imagen Landsat para el año 2010.

Una vez identificadas las actividades que se desarrollaban cerca de la laguna en las diferentes temporalidades, se analizaron por medio de la matriz de influencias dependencias. Finalmente los factores se relacionaron a través de la metodología propuesta por Zambrano *et al* (2007), con el propósito de brindar una visión más detallada del estado actual de la laguna para futuros lineamientos, monitoreo y planes de conservación.

1 INTRODUCCIÓN

En muchos lugares del mundo, la integridad ecológica se ha convertido en un método para la planificación de la conservación (Manuel-Navarrete *et al.*, 2004; Borja *et al.*, 2009; Reza y Abdullah, 2011). Esta se define como la capacidad de un ecosistema para apoyar y mantener una comunidad equilibrada, adaptativa de los organismos que tienen una composición de especies, la diversidad y organización funcional comparable a la de un hábitat natural (Zambrano *et al.*, 2007; Reza y Abdullah, 2011; Rivera y Rodríguez, 2011)

Restra (1995), menciona que el término “Integridad ecológica” en sí mismo denota unidad, totalidad y valor, lo que supone el reconocimiento de una cierta condición original que tiene por objeto proveer criterios para evaluar los ecosistemas, considerados como entidades (sistemas) con un cierto grado de autonomía y capacidad de regulación. Según (Jørgensen, 2002; Müller, 2005; Reza y Abdullah, 2011) en esta definición las características de la integridad ecológica incluyen la salud del ecosistema entendida como un criterio jerárquico, multiescalar de indicadores como la resiliencia y la capacidad de auto organización de las formas de vida, biodiversidad de especies de vida corta y larga, relación de especies endémicas, exóticas y grado de mutualismo.

La integridad ecológica se ha utilizado para evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos y terrestres (Reza y Abdullah, 2011), además se ha convertido en una base fundamental para la aplicación de la protección de los recursos naturales y la medición de la eficiencia, aplicada a la protección en la gestión de áreas protegidas, como: la Ley de Agua Limpia (CWA) en 1972 en los Estados Unidos (Barbour *et al.*, 2000), para Colombia: el manual de monitoreo del sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007), la definición de criterios para la delimitación de páramos del país y de lineamientos para su conservación propuestos por Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a, b) y la guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia (Rivera y Rodríguez, 2011).

Aunque la unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia desde el año 2001 viene desarrollando instrumentos para medir los resultados de su gestión con ayuda de la herramienta de análisis de efectividad del manejo de áreas protegidas (Zambrano *et al.*, 2007) y el Análisis de Efectividad Manejo de Áreas Protegidas con Participación Social (A.E.M.A.P.P.S) (P.N.N. y W.W.F., 2010), se evidencia la necesidad de evaluar en la laguna de San Rafael la condición actual de los atributos de la biodiversidad en los cuales se enfocan los planes, es decir, los valores objeto de conservación.

Dichos atributos de la biodiversidad pueden ser paisajes, ecosistemas, comunidades, especies o poblaciones y los valores objeto de conservación son aquellos que representan la biodiversidad del área en cuanto a riqueza, cantidad y extensión (Parrish *et al.*, 2003; Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007). En el desarrollo de la propuesta para el análisis de la integridad ecológica se incluye además un criterio adicional: elementos de biodiversidad con valor cultural, ya que por lo general son especies, comunidades o ecosistemas sobre los cuales se genera una afectación (Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a).

Para la zona de estudio en la laguna de San Rafael ubicada en el Parque Nacional Natural Puracé y en lagunas de páramo, no se han desarrollado investigaciones que evalúen su integridad ecológica. Por lo tanto, es requerido un enfoque holístico, previo para una indicación fiable del estado íntegro del sistema (Müller *et al.*, 2000), para así tener una mayor comprensión, entendimiento de su integridad ecológica, que a su vez enmarca una condición por el cual el sistema pueda resistir y recuperarse de alteraciones causadas por los procesos naturales, o de perturbaciones provocadas por el hombre (Andreasen *et al.*, 2001).

2 JUSTIFICACIÓN

Las actividades antropogénicas, tales como la modificación del hábitat, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos siguen teniendo un efecto perjudicial en los niveles globales de la biodiversidad y la prestación subsiguiente de servicios de los ecosistemas (Diaz *et al.*, 2004). La pérdida de hábitat a través del desarrollo humano, es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y esto se suma a un seguimiento irregular y responsabilidades mal definidas y delegadas de la sociedad y el estado (Quétier y Lavorel, 2011).

En Colombia los ecosistemas de páramo presentan una extensión aproximada de 1.925.410 hectáreas de las cuales 746.644 se encuentran en áreas de Parques Nacionales Naturales (Rivera y Rodríguez, 2011). A pesar de que esta área corresponde solo al 2% del territorio nacional (Van, 1991), Colombia se destaca a nivel mundial como el país con la mayor área de estos ecosistemas (Rivera y Rodríguez, 2011). Pese a esto, el uso no sostenible e inapropiado de los recursos naturales genera pérdida de la biodiversidad y de su estado de conservación. La expansión de la agricultura en general para aumentar su productividad, combinadas con el crecimiento poblacional asentada en los Andes Colombianos, han conducido a tasas significativas de deforestación (Donato, 2001b).

En la zona aledaña al sector San Rafael hay aprovechamiento del recurso hidrológico para la agricultura y la ganadería (Apolinar *et al.*, 2009), con lo cual surgen interrogantes como ¿Cuál es el efecto de la multiplicidad de autoridades ambientales, Parques Nacionales Natural Puracé, Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), y etnias Indígenas Kokonucos sobre el uso de ese ecosistema lagunar paramuno?

En la actualidad la laguna de San Rafael presenta impactos de antropización como el pastoreo, quemadas (Muñoz, 2007a; Apolinar *et al.*, 2009) y turismo, estas actividades no corresponden a los objetivos de Parques Nacionales Naturales de Colombia, corporación autónoma regional del Cauca “CRC” de una conservación sin intervención o de un desarrollo sostenible.

Los factores antrópicos producidos por las actividades de la comunidad los Kokonucos, que habitan por sector de San Rafael, generan presión hacia los recursos naturales en la laguna, área que contiene coberturas vegetales de frailejones, chuscales, ciperáceas, pajonales, predominantes en estos ecosistemas de páramo (Apolinar *et al.*, 2009), estos factores antrópicos han producido la disminución de esta cobertura vegetal. Al ser la vegetación un recurso esencial para la fauna y reguladora del factor hídrico, su alteración conlleva a la pérdida del hábitat en el páramo como desequilibrio en la dinámica hídrica, poniendo en riesgo la integridad ecológica de este ecosistema lagunar.

En vista de que no se encuentran registros que determinen la integridad ecológica de esta laguna, este trabajo se propuso como una alternativa que ayude a entender los procesos socioculturales que afectan a la laguna, evaluar los factores hidrológicos, morfológicos y socioculturales, ¿cómo interactúan? estos factores y finalmente determinar su integridad ecológica, además de aportar valiosa información que sirva para reforzar procesos de planificación, planes de vigilancia y de monitoreo en ecosistemas lagunares de Páramo, de gran importancia por sus bienes, servicios ambientales y ecosistémicos.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Páramos de Colombia

Los Páramos ofrecen diversos servicios ambientales como: su biodiversidad, paisajes, suelos fijadores de carbono y en especial la provisión del recurso hídrico (Morales *et al.*, 2007; Apolinar *et al.*, 2009), dentro de sus funciones está el regular el recurso hídrico (Apolinar *et al.*, 2009; Romero, 2012), además presenta una alta diversidad de especies con un endemismo del 90% en su flora (Rivera y Rodríguez, 2011).

Estos ecosistemas no son ajenos a procesos de desestabilización, conocidos como perturbaciones, que hacen parte de procesos antrópicos, que se potencian debido a que presentan fuertes pendientes que lo hacen vulnerable a una erosión acelerada en condiciones de precipitaciones generando erosión en el suelo y procesos de eutrofización en sus fuentes hídricas (Donato, 2001b; Perez, 2008; Apolinar *et al.*, 2009) Estas perturbaciones se definen como un cambio explícitamente definido de un estado, o trayectoria de un sistema ecológico (Apolinar *et al.*, 2009) o fenómeno discreto en el tiempo que altera las estructuras de los ecosistemas y de las comunidades (Farina, 2011), otro concepto ligado a este es el de disturbio entendiéndose como la causa que origina la perturbación o el factor, evento de perturbación en los sistemas ambientales (Apolinar *et al.*, 2009).

A pesar de su importancia y de la función que tienen estos ecosistemas, desde hace décadas se registran altos niveles de crecimiento poblacional realizando actividades de expansión agrícola, pecuaria y minería, conduciendo a tasas substanciales, significativas de deforestación, (Donato, 2001b; Rivera y Rodríguez, 2011), así como una creciente demanda de bienes y servicios ecosistémicos para suplir las necesidades de estas actividades antrópicas, generando que en el páramo haya cambios en su estructura y función (Tandioy, 2008; Apolinar *et al.*, 2009).

Según Rivera y Rodríguez (2011) buscando preservar y restaurar los páramos, el estado Colombiano definió mediante la ley 1450 de 2011 (plan de desarrollo 2011-2014), en los ecosistemas de páramo no se podrán realizar actividades

agropecuarias, ni de exploración, explotación de hidrocarburos y minerales. Como meta se propuso realizar la delimitación de los páramos, mediante la definición de criterios para la delimitación (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a, b; Rivera y Rodríguez, 2011).

Sin embargo se observa para el caso de la zona alto andina del departamento del Cauca presenta cambios significativos en el uso de sus tierras, introduciendo en ellas actividades de producción minera, agrícola y ganadera que afectan la dinámica de esta zona de vida importante por sus servicios ecosistémicos como su cobertura vegetal, recurso hídrico y diversidad biológica. Actualmente ciertas actividades antrópicas cerca al área de estudio "Laguna de San Rafael" como la minería de azufre a cielo abierto, agricultura y uso del suelo Paramuno para ganadería doble propósito carne y leche (Troyano, 1999; Donato, 2001b; Joaqui, 2005; Muñoz, 2007a; Apolinar *et al.*, 2009; Mosquera, 2009; Vejarano, 2012; Vidal, 2012; Plaza, 2014).

3.2 Integridad Ecológica

La integridad ecológica fue atribuida por el conservacionista americano Aldo Leopold quien declaró "una cosa esta bien cuando esta tiende a preservar la integridad, estabilidad y la belleza de la comunidad biótica. Está mal cuando está tiende a lo contrario" (Leopold, 1968) citado por (Quigley *et al.*, 2001; Reza y Abdullah, 2011; Özkundakci *et al.*, 2014). El no dio una clara definición del término integridad, pero inicio un pensamiento en sostenibilidad (Reza y Abdullah, 2011), entendiéndose como aquel que satisface las necesidades de la generación actual, sin comprometer o dañar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Environment, 1987; Müller *et al.*, 2000; García, 2003; Farina, 2011; Montané, 2012).

(Karr y Dudley, 1981) citado por (Michez *et al.*, 2013), define la integridad como la capacidad para apoyar y mantener un sistema biológico equilibrado, integrado, adaptable que tiene elementos y procesos previstos en el hábitat natural de una región. Siguiendo esa misma línea (Karr, 1991), citado por (Velez y Gómez, 2008; Reza y Abdullah, 2011), asocia la integridad como un sistema biofísico en el cual prevalece una composición de especies y una organización funcional comparable a

la de los ecosistemas naturales de una determinada región ecológica. Estas dos aproximaciones que denotan baja, o ninguna influencia o intervención humana son las que se describen el concepto de integridad biológica planteado por (Karr, 1991; Munguía *et al.*, 2007), que podría entenderse como un componente para llegar a determinar la integridad ecológica (Andreasen *et al.*, 2001).

Por el contrario Kay (1993), plantea que la integridad ecológica sólo puede ser evaluada considerando a los seres humanos como parte importante de los mismos (Quigley *et al.*, 2001), citado por (Velez y Gómez, 2008; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a). Kay concluye según (Quigley *et al.*, 2001), que la definición de la integridad ecológica debe tratar de integrar todo lo que se sabe sobre el sistema, incluyendo procesos ecológicos, perturbaciones humanas a diferentes escalas del paisaje (Kay y Regier, 2000; Zampella *et al.*, 2006; Velez y Gómez, 2008; Özkundakci *et al.*, 2014),

El concepto de Integridad Ecológica para esta investigación se trabaja según lo expuesto por (Forman, 1995) citado por (Moizo, 2007) la integridad ecológica de un área puede ser medida ya sea por el atributo más importante o sensible de un sistema ecológico, o a través de un conjunto de estos, que deben ser mantenidos a un nivel mínimo u óptimo.

3.2.1 Integridad Ecológica en Áreas Protegidas – Laguna San Rafael

En diferentes partes del mundo, la integridad ecológica se ha convertido en una herramienta para la planificación de la conservación de diferentes ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marítimos (Westra *et al.*, 2000; Quigley *et al.*, 2001; Zampella *et al.*, 2006; Törnblom *et al.*, 2011; Viana *et al.*, 2012; Michez *et al.*, 2013; Ruaro y Gubiani, 2013; Özkundakci *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014). Aunque Parrish y colaboradores (2003) pone en discusión ¿cómo se está conservando lo que se debe de conservar?, pues los administrativos, conservacionistas y gestores de las áreas protegidas tiene el reto de medir con eficacia el nivel de conservación de la biodiversidad de las áreas protegidas en formas científicamente sólidas, prácticas y través del espacio tiempo.

Para cualquier nación es de vital importancia conocer sus recursos naturales, su condición y estado de conservación, pues muchos de ellos son aprovechados por sus servicios ambientales y ecosistémicos. Sin embargo pocos sitios de conservación “parques, reservas y otros” han establecido claramente un sistema eficiente para evaluar la efectividad del manejo que realizan sobre la protección de un sin número de ecosistemas (Brandon *et al.*, 1998), citado por (Parrish *et al.*, 2003). La incapacidad para medir efectivamente los procesos de conservación conlleva a un escepticismo entre responsables políticos y los organismos de financiación sobre el valor de y esfuerzo de conservación a largo plazo.

En respuesta, varias instituciones y científicos han desarrollado sistemas para la medición de la eficiencia, eficacia, protección, en la gestión de áreas protegidas (Moizo, 2007; Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007; Armero, 2009; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a; Andrade *et al.*, 2011; Rivera y Rodríguez, 2011; Özkundakci *et al.*, 2014). En Colombia la Unidad de Parques Nacionales Naturales (P.N.N.C., 2005) y según Zambrano *et al.* (2007) desarrolla instrumentos, metodologías para medir resultados de la gestión y manejo en áreas protegidas con la participación del Análisis de la Efectividad de Manejo de Áreas Protegidas con Participación Social (AEMAPPS), sin embargo se evidencia la necesidad de evaluar la condición actual de los atributos de la biodiversidad “composición, estructura biológica, disturbios, interacciones bióticas y conectividad (Zambrano *et al.*, 2007), donde se aplican dichos planes, es decir los valores objetos de conservación.

Trabajos realizados por (P.N.N.C., 2005; Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007; Apolinar *et al.*, 2009; Armero, 2009; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a, b; Rivera y Rodríguez, 2011), brindan herramientas para la evaluación de diferentes ecosistemas dentro de las unidades de Parques Nacionales de Colombia, a diferentes escalas del paisaje, haciendo uso de las métricas de la ecología del paisaje y generando criterios de evaluación para la delimitación de los páramos en Colombia haciendo uso del concepto de integridad ecológica e indicadores socio ecológicos.

Para obtener una aproximación de la integridad ecológica en la laguna de San Rafael, este concepto se trabaja según lo expuesto por (Forman, 1995) citado por (Moizo,

2007) **la integridad ecológica de un área puede ser medida ya sea por el atributo más importante o sensible de un sistema ecológico, o a través de un conjunto de estos, que deben ser mantenidos a un nivel mínimo u óptimo.** Así, un paisaje con integridad ecológica tendría las características para mantener los niveles naturales de productividad, biodiversidad y de las propiedades de suelos, calidad y cantidad de agua (Moizo, 2007). Siguiendo esta misma línea Reza y Abdullah (2011) expone: *“si el objetivo es implementar un índice de integridad ecológica, para ello la integridad ecológica debe representar los atributos vitales de los ecosistemas regionales, la selección de estos atributos debe basarse en las características más importantes para la conservación de una región, así si la intención es implementar un índice regional de la integridad ecológica este puede ser un enfoque adecuado para la gestión sostenible de los ecosistemas”* (Reza y Abdullah, 2011). Por lo tanto la integridad ecológica está estrechamente vinculada a la biodiversidad nativa (Noss, 1990) citado por (Noss, 2000).

3.2.2 Cultura y Sociedad aledañas a la laguna San Rafael

El departamento del Cauca presenta variabilidad cultural debido a que en su territorio coexisten comunidades indígenas, campesinas y afrodescendientes, que pese a los procesos de intercambio cultural, desplazamiento forzado y conflicto armado, aún habitan los territorios andinos. En los alrededores del Parque Nacional Natural Puracé (PNNP) se encuentran las comunidades indígenas Yanaconas, Kokonucos, Puracés y Campesinos, distribuidos en los resguardos Coconuco, Puracé y Paletará, sobre una extensión que abarca aproximadamente 15.630 ha y en un rango altitudinal entre los 4.000 y 2.400 msnm (P.N.N.P. *et al.*, 2004).

Parte del territorio indígena y campesino se halla dentro de las inmediaciones del (PNNP), de donde derivan su sustento en base a la producción agrícola, pecuaria, minería de azufre y ecoturismo (Guzmán *et al.*, 1996; Faust, 2004; P.N.N.P. *et al.*, 2004) Los mestizos en las zonas aledañas al área protegida son campesinos con economías rurales de subsistencia y también con sistemas productivos intensivos de papa, ganadería lechera, cultivos de trucha y frutales, con sistemas mixtos (P.N.N.P. *et al.*, 2004).

Los cabildos indígenas Puracé y Kokonucos fueron constituidas en la época colonial, otras como las de Paletará se constituyeron en el años de 1984 y obtuvo su posesión legal en 1989 (Guzmán *et al.*, 1996). Cada cabildo está constituido y organizado con cargos de gobernador, capitán general, alcalde, alguacil y tesorero, esta estructura está definida por cada territorio, a nivel regional hacen parte del Consejo Regional Indígena del Cauca (CRIC) y a nivel nacional la Organización Nacional Indígena de Colombia (ONIC) (Guzmán *et al.*, 1996). Dentro de las funciones de los cabildos están el solucionar conflictos de convivencia, velar por la conservación de sus culturas, territorios y al manejo de los recursos naturales.

Para la laguna de San Rafael, lugar que hace parte del territorio donde se distribuye la comunidad indígena de los Kokonucos tiene un gran valor cultural y social, es llamada laguna de ANDULBÍO (ninfa de aguas), se considera un sitio de ritual y sagrado, en especial para realizar refrescamientos con los médicos tradicionales, se renueven los bastones de mando y asocian diferentes mitos, leyendas y creencias de su cultura (Guzmán *et al.*, 1996; Faust, 2004; P.N.N.P. *et al.*, 2004),

3.2.3 Sistemas Socio Ecológicos

Los páramos no son solamente ecosistemas, paralelamente son territorios, sociales y culturalmente construidos, pensados interpretados y habitados desde hace varios siglos (Rivera y Rodríguez, 2011), donde los disturbios naturales e intervención humana han creado condiciones de estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas y del paisaje (Apolinar *et al.*, 2009) (Figura 1), donde mayoría de las perturbaciones humanas son por lo general únicas, asociadas a contextos socioeconómicos y donde los patrones culturales definen el accionar de la sociedad que ejerce la perturbación.

Claramente estos ecosistemas deben de ser gestionados desde una perspectiva holística integrando sus componentes naturales desarrollados a través del tiempo y espacio, con el objetivo de crear e implementar políticas eficaces ambientales y territoriales sin dejar a un lado las comunidades que habitan estos ecosistemas, pues muchas de ellas han convivido en estas zonas hace centenares de años, realizando y desarrollado sus actividades culturales, económicas y sociales, (Guzmán *et al.*,

1996; Faust, 2004; Apolinar *et al.*, 2009), esto comúnmente se considera como sistemas socio ecológicos, según MAVDT. y I.A.v.H. (2010a) este se presenta como un modelo ambiental de interacción que contempla las características sociales en interrelación con el entorno “ecosistemas”, su objetivo es explicar realidades complejas como las que se exponen en Rivera y Rodríguez (2011).



Figura 1. Aspecto de un mosaico del paisaje de páramo antropizado o transformado por las actividades sociales y culturales. Tomado de Rivera y Rodríguez (2011).

Haciendo uso de los sistemas socio ecológicos se obtiene un reconocimiento de los objetos de conservación, las dinámicas sociales y culturales que preceden al uso y manejo de estos ecosistemas para así lograr buenos resultados de las políticas ambientales que se deseen implementar (Apolinar *et al.*, 2009), respaldando las comunidades y su viabilidad social, cultural y económica (Berkes *et al.*, 2000) citado por (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a).

Los páramos de Colombia han sido definidos básicamente a partir de sus características biofísicas y desde diversas perspectivas del orden científico, académico e institucional, representando un ambiente estratégico que debe ser protegido y conservado debido a su importancia fundamental como fuente de recursos hídricos y naturales para la nación (Ospina, 2004), además es conocido por la gran altitud, alto nivel endemismo en flora y fauna, regulador del recurso hídrico, regulador

de las inundaciones, regulador del recurso pesquero, el páramo es un ecosistema frágil que tiene niveles bajos de productividad primaria, crecimiento, descomposición y una sucesión natural lenta (Apolinar *et al.*, 2009).

Por tanto, la recuperación del ecosistema tras un disturbio es muy baja (Janzen, 1973; Williamson *et al.*, 1986; MAVDT. y IAVH., 2010a). Sin embargo, dentro de diferentes áreas de páramo se puede esperar que la resiliencia del ecosistema sea distinta. Por ejemplo, en páramos con suelos superficiales y clima extremo, se puede esperar que la fragilidad sea mayor (Keating, 1995; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a), teniendo como resiliencia a la propiedad de recuperación de un sistema tras una perturbación (Farina, 2011).

3.3 Lagunas de Paramó y Parámetros Hidrobiológicos

Los lagos y lagunas pertenecen a la categoría de aguas quietas o lenticas. Por definición, un lago es una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes, laguna es algo similar pero más pequeña. Estos dos términos se utilizan a menudo de manera intercambiable y establece un límite preciso para diferenciarlos es un problema de semántica. Roldan y Ramírez (2008b), concluyen que un lago es un cuerpo de agua de profundidades considerables como los lagos de altas montañas, en cambio laguna es un término para designar cuerpos de agua poco profundos, con lo cual en esta investigación se trabajará el nombre de laguna debido a sus características geomorfológicas e hidrológicas.

Los lagos y lagunas no son elementos permanentes del paisaje y estos están destinados a desaparecer debido a la acumulación de sedimentos y materia orgánica, bien sea de origen autóctono (del propio metabolismo) o de origen aloctono (materiales arrastrados de afuera por acción de las lluvias y corrientes), este procesos se conoce como sucesión (Roldan y Ramírez, 2008b).

Donato (2001), describe que los lagos situados en las partes altas de los andes por encima de los 3000 msnm, corresponden a la provincia de alta montaña tropical. La mayoría de estos ambientes son de origen reciente y están asociados con la última glaciación. Donato y colaboradores (1996) menciona que estos sistemas, pueden ser

subdivididos en dos grandes grupos, entre los 3000, 3800m y entre 3800 a 4600m de acuerdo con la altitud, las condiciones ecológicas y los sistemas de producción en su cuenca de drenaje. El primer grupo corresponde a los sistemas acuáticos situados en el piso térmico del modelado glaciar heredado, localizado entre los 3000 y 3800 msnm. Debido a la ampliación de la frontera agrícola y ganadera y a los eventos de sucesión, evolución (tuberización), la calidad del agua en estos sistemas presenta un deterioro leve. Por otro lado, su localización en aéreas de sedimentación, consecuencias del proceso de colonización social de la montaña andina.

Según (Donato, 2001b) la laguna de San Rafael es probablemente de origen glaciar, con una morrena lateral y otra frontal situados sobre un valle relleno con depósitos fluvio-glaciales y sobre una gran extensión de turba, que facilita el desarrollo de turberas y una zona litoral extensa.

3.3.1 Calidad de Agua

La calidad del agua incluye las características físicas, químicas y biológicas que puede presentar un cuerpo de aguas naturales, con el propósito de determinar su estado trófico y sanitario, se relaciona directamente o indirectamente con las características del hábitat natural, niveles de alteración, estudios de efecto ambiental sobre los recursos hidrobiológicos (Vasquez, 2001). Los parámetros fisicoquímicos e hídricos están en constante y permanente variación y demuestran cambios de la caracterización hídrica en función de pisos altitudinales, zonas fitogeográficas, dinámica del cuerpo de agua y estos procesos se relacionan directamente con la naturaleza del ambiente, la adaptación y distribución de la biota acuática en general (flora microbiana, fitoplancton, macrófitas acuáticas, zooplancton macroinvertebrados acuáticos e íctiofauna) y fundamentalmente con el flujo de energía y niveles tróficos, dinámicos que en el ecosistema acuático se establecen (Vasquez, 2001).

El fitoplancton es responsable de aproximadamente el 40% del total de la producción fotosintética sobre la Tierra, la cual se estima entre 170 - 290 Gt giga toneladas. De este gran total, los bosques tropicales contribuyen una cantidad bastante significativa, pues se fijan alrededor de 37.4×10^9 tC toneladas de carbono por año. Esta cantidad

es solamente superada por los océanos, los cuales fijan alrededor de 41.5×10^9 tC por año. Estas cantidades tan grandes son fijadas sin importar la concentración tan baja de CO₂ en la atmósfera 0.0352% (Naundorf, 2010).

Según: (Lowie, 1946; Ospina, 2004), *"La geografía proporciona al investigador de la cultura tanto una técnica como ciertos resultados definidos. Los hechos que aquel estudia varían en el espacio, por tanto su primera y más obvia tarea es determinar sus relaciones espaciales"*. Así, el análisis de la distribución espacial de un elemento sociocultural permite comprender inicialmente el contexto de un problema inicial, pero no solucionarlo completamente; por el contrario, puede hacer evidentes una serie de "problemas históricos" a partir de la forma como los fenómenos identificados como "problema" se localizan en la escala temporal. La morfología se refleja en los acontecimientos físicos químicos y biológicos del sistema, determina en la naturaleza el drenaje del sistema, determina el volumen de agua en el sistema, influye en los niveles de estratificación, afecta la productividad y la entrada como salida de nutrientes (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a).

4 ANTECEDENTES

La integridad ecológica se ha utilizado para evaluar o medir, el estado ecológico, protección de recursos naturales, uso en la delimitación de áreas protegidas, manuales de monitoreo, implementación de modelos conceptuales para su determinación a escala del paisaje y ecosistemas, entre ellos: terrestres, acuáticos continentales y marinos, que presentan cierto nivel de perturbación.

De Leo y Levin (1997), describen que los ecosistemas están sometidos inicialmente a procesos de perturbación natural y antrópica. Estos generan cambios en sus condiciones, estructuras y características propias de dichos ecosistemas a través de tiempo, obteniendo así una complejidad y diversidad específica, que puede ser medida a través de una selección de varios indicadores (Müller *et al.*, 2000) a diferentes escalas espaciales, niveles temporales y jerárquicos de su organización ecosistémica “poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes”.

Según Noss (2000), hay gran interés de la sociedad por conocer sobre la diversidad biológica y la integridad ecológica, exige que los gestores presenten una visión más amplia del medio ambiente. Noss define a la Integridad Ecológica (IE) como la suma de las propiedades físicas y químicas de la integridad biológica, dejando a un lado el factor que genera las perturbaciones antrópicas, el hombre. Esta visión queda corta ya que solo se centra en los riesgos que presentan las especies no humanas y los ecosistemas “biodiversidad”.

Andreasen (2001), en su trabajo *Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity* describe a la integridad ecológica según los lineamientos de (Karr y Dudley, 1981; Noss, 2000) cómo la capacidad de un ecosistema acuático para apoyar y mantener una comunidad equilibrada, adaptación de los organismos que tienen una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a la de los hábitats naturales de una región, la suma de integridad química, física y biológica puede equipararse a la integridad ecológica. Menciona que los sistemas ecológicos se componen de complejos componentes biológicos y físicos que son difíciles de entender y de medir, pero necesarios para tomar decisiones efectivas e ideales para la medición, protección de los ecosistemas y la toma de

decisiones ambientales. Plantea algunas consideraciones para el desarrollo de un índice terrestre de integridad ecológica (ITIE), su objetivo es evaluar la capacidad de las unidades “Multi-escala, historia natural, flexibilidad, composición biológica, estructura y función” del paisaje para proporcionar recursos valiosos de una manera sostenible.

Velez y Gómez (2008), en su trabajo teórico, realizan un análisis conceptual para estimar la integridad ecológica, a diferencia de los anteriores autores, proponen determinar la integridad ecológica, no desde la escala del ecosistema, sino desde la perspectiva y del paisaje. Presenta la integridad ecológica del paisaje (IEP) como el resultado de la interacción de tres índices con sus respectivas métricas:

- I. Integridad Espacial – Dominancia de la vegetación natural del paisaje (DOM), Índice de área total del interior de los fragmentos (ATI) y Grado de conectividad.
- II. Integridad Ecosistémica – Estructura y composición, madurez y funcionamiento.
- III. Sostenibilidad de Usos del Suelo – Usos agrícolas del suelo.

Reza y Abdullah (2011), propone un índice regional para medir su integridad ecológica (IER), pone en discusión que al analizar los ecosistemas, estos presentan sus propias características definidas por su región, tiempo y presiones antrópicas. Cada uno de ellos posee un cierto grado de complejidad. Para este análisis de (IER) se debe de ver el ecosistémica de acuerdo a sus componentes que más los representa o que tengan un nivel alto de vulnerabilidad.

4.1 Modelos de integridad Ecológica y Su aplicación

La integridad ecológica en estos estudios se logra según métricas del paisaje, componentes ecológicos y herramientas metodológicas para su evaluación en áreas protegidas, haciendo uso de organismos biológicos importantes para el estado y condición en los ecosistemas. Siguen la tendencia expuesta por Viana y colaboradores (2012) (Tabla 1).

Tabla 1 Antecedentes Integridad Ecológica

Autor - Estudio	Componentes Tenidos En Cuenta	Indicadores	Escala
(Quigley <i>et al.</i> , 2001) Estimating ecological integrity in the interior Columbia River basin.	<u>Componentes Ecológicos</u> Bosques Tierras de pastoreo Acuático	Porcentaje de Bosque Seco Porcentaje de Bosque Húmedo Hierba seca o Arbusto Tierras Agrícolas Peces Nativos Índice de población de los Peces Densidad de caminos Frecuencia de incendios	Ecosistema
(Zampella <i>et al.</i> , 2006) Using multiple indicators to evaluate the ecological integrity of a coastal plain stream system.	Calidad del agua Biogeografía Uso del Suelo	Variables fisicoquímicas y Nutrientes Peces Vegetación – Nativas, No Nativas Anuros Agricultura	Ecosistema
(Moizo, 2007) Patrón Espacial de la Integridad Ecológica del Mosaico Paisajístico en el Departamento de Canelones – Uruguay.	<u>Indicadores Ecológicos</u> Composición Indicadores de Función Indicadores Ecológicos Estructura	Distribución, Riqueza, Tipo de Parche. Presencia del Parche, Erosión, Procesos Geomorficos e Hidrológicos, Tasas de Flujo de Energía y Ciclos de Nutrientes. Heterogeneidad Espacial, Tamaño del Parche, Forma y Distribución, Grado de Fragmentación, Conectividad y Resiliencia.	Paisaje
(Fraser <i>et al.</i> , 2009) Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks.	Factores de Estrés Proceso de los Ecosistemas Biodiversidad	Fragmentación del Hábitat Sucesión Productividad Riqueza de Especies	Paisaje

(Törnblom <i>et al.</i> , 2011) Forest proportion as indicator of ecological integrity in streams using Plecoptera as a proxy.	Bioindicador Ríos Plecóptera Cobertura	Fisicoquímica Macroinvertebrados Bosques – Bibliografía “imágenes Satelitales” y Trabajo Capo Transeptos	Paisaje
(Viana <i>et al.</i> , 2012) Measuring the ecological integrity of an industrial district in the Amazon estuary, Brazil	Bioindicador Comunidad de Peces Rio	Caracterización de la especies Hígado “Evaluación Histopatologicas” Índice de Salud Biológica y Comunidad	Ecosistema
(Özkundakci <i>et al.</i> , 2014) Ecological integrity of deep lakes in New Zealand across anthropogenic pressure gradients	Indicadores Fisicoquímica Biológicos Funcionales Origen Lagos Indicadores de Presión Antrópica	P Total, Nitrógeno Total, Secchi Macroinvertebrados, Peces, Macrófitas Sumergidas y Fitoplancton. Demanda de Oxigeno Cambios en las Coberturas, Evaluación de Especies Invasoras, Carga de Nitrógeno	Ecosistema
(Wang <i>et al.</i> , 2014) A national pilot scheme for monitoring and assessment of ecological integrity of surface waters in China	Parámetros Hidrología Peces Ecotoxicología	Fisicoquímica Morfología Macrobentos	Ecosistema

4.2 Integridad Ecológica en Colombia

En Colombia instituciones como Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC), el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH) y WWF Colombia, desarrollaron una herramienta que permitirá conocer la “salud” de la biodiversidad y medir el estado de conservación de las poblaciones, especies, ecosistemas y paisajes dentro de las áreas protegidas (PNN) con el propósito de fortalecer los esfuerzos, acciones de conservación, ayudándose de las experiencias de actores sociales para ajustar la metodología a las características particulares y necesidades específicas que requieren las áreas a largo plazo (WWF, 2007).

El documento preparado por Pardo y colaboradores (2007), Manual de Monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, tiene como objetivo contar con la información oportuna y sistematizada del estado de las presiones de los valores objeto de conservación y el logro de los objetivos de conservación de las áreas protegidas. Zambrano y colaboradores (2007), desarrollan una Evaluación de Integridad Ecológica, Propuesta Metodológica presentan con más detalle los lineamientos para evaluar la integridad ecológica siguiendo los lineamientos de (Parrish *et al.*, 2003). Estos dos documentos son instrumentos diseñados para orientar la formulación, ejecución, seguimiento y monitoreo de las estrategias de conservación (PNN).

El informe final definición de criterios para la delimitación de los diferentes tipos de páramos del país y lineamientos para evitar efectos adversos sobre su integridad ecológica (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a, b) presenta un mayor grado de especificidad con respecto a los anteriores trabajos planteados por (Pardo *et al.*, 2007; Zambrano *et al.*, 2007) para medir la integridad ecológica en áreas protegidas. Esta propuesta considera al ecosistema de Páramo como un sistema socio ecológico, que modifica la estructura del ecosistema, además de ser un factor determinante en la interpretación de la integridad ecológica. Siguiendo esta misma temática Rivera y Rodríguez (2011), en la Guía Divulgativa de Criterios Para la Delimitación de Páramos de Colombia, hace uso

de elementos sobre los componente biofísico, sociocultural y finalmente expone los criterios del componente de la integridad ecológica. Discute como ocurren los cambios dentro del ecosistema de Páramo en el espacio-tiempo resaltando: **“Buena parte de los problemas para ejecutar eficazmente políticas ambientales y territoriales en escenarios locales, tiene su origen en el desconocimiento de las dinámicas sociales y culturales que preceden al uso y manejo de los ecosistemas”.**

Aunque se toman las diferentes propuestas de (Zambrano *et al.*, 2007; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a; Rivera y Rodríguez, 2011) como documentos base para esta investigación, la metodología del uso de la Integridad Ecológica para los (PNN) carece de la articulación de los tres factores que se desarrollaron en esta investigación “Hidrológico, Morfológico y Sociocultural” en un área específica como la laguna de Páramo del Sector San Rafael.

4.2.1 Sector San Rafael PNN Puracé

En el sector de la Laguna de San Rafael no se encuentran trabajos relacionados con la integridad ecológica (IE), pero se citan trabajos realizados por: Troyano (1999) que efectuó un trabajo Fito-sociólogo de las comunidades de macrófitas acuáticas en la laguna de San Rafael identificado y caracterizando las asociaciones vegetales presentes en la zona de transición agua-tierra. Donato (2001b), en su libro Fitoplancton de los Lagos Andinos del Norte de Sudamérica determina la ecología de los lagos haciendo uso de organismos bioindicadores como el fitoplancton, apoyándose en parámetros fisicoquímicos, morfológicos, hidrológicos y climáticos a través de la distribución horizontal como vertical del fitoplancton y productividad primaria concluyendo el estado trófico de la laguna de San Rafael.

Aunque los trabajos de (Guzmán *et al.*, 1996) Geografía Humana de Colombia: Región Andina y (Faust, 2004) Un Viaje Por Paisajes Míticos de Colombia, no son documentos que describan conceptos biológicos o ecológicos, estos textos son de gran importancia ya que en ellos describen las actividades culturales y sociales de las comunidades que habitan los sectores de Páramo.

Joaqui (2005), realizó un estudio de Análisis Multitemporal de las Coberturas Vegetales para Ecotonos Paramunos, identificando actividades antrópicas “quema, ganadería y cultivos” que disminuyen la cobertura vegetal del ecosistema Paramuno haciendo uso del sistema de información geográfica (SIG) para evidenciar los cambios espaciotemporales de la vegetación. Muñoz (2007a), realizó una caracterización biofísica, análisis espacio temporal y de intervenciones antrópicas para humedales, caso tipo laguna de San Rafael, con ayuda de herramientas de (SIG) imágenes satelitales describiendo las estructuras vegetales alrededor de la laguna, caracterizando la vegetación y realizando mediciones de variables fisicoquímicas en el humedal.

Mosquera (2009), determino las dinámicas en las variaciones microclimáticas, cobertura y composición florística, en dos zonas de transición presentes en un sistema de páramo (sector de San Rafael) en área de influencia del PNN Puracé, con la finalidad de obtener aportes a la conservación de ecosistemas altoandinos. Apolinar y colaboradores (2009) describen el ecosistema de Páramo alto andino sus condiciones ambientales, los problemas antrópicos entre los que se encuentran la disminución de las coberturas vegetales propias de este ecosistema, a causa de las actividades agrícolas en sus alrededores, el paso ganadería. Vejarano (2012), realizo un trabajo de funciones y servicios ecosistémicos en la laguna San Rafael sobre dirección, presión, estado, impacto y respuesta.

Vidal (2012), en su estudio analizo relaciones entre procesos de fragmentación ecosistémica con la diversidad de comunidades de aves, evaluados en un gradiente altitudinal y comparaciones entre los dos sectores altoandinos de la cordillera Central en el departamento del Cauca, Tabaco (Totoró) y San Rafael (Puracé). Finalmente Plaza (2014), realizo un estudio sobre las alteraciones antrópicas, en tres subdivisiones de macro hábitat, que se diferenciaron según sus asociaciones vegetales, el análisis se hizo a través de comunidades bióticas aves y macrófitas, parámetros fisicoquímicos.

5 OBJETIVO GENERAL

Determinar la integridad ecológica de la laguna san Rafael

5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Identificar los procesos socioculturales que afectan la laguna San Rafael

Evaluar los factores hidrológicos, morfológicos y socioculturales que afectan a la laguna San Rafael

Determinar cómo interactúan los factores hidrológicos, socioculturales y morfológicos.

6 METODOLOGÍA

6.1 Descripción del área de estudio

El Parque Nacional Natural Puracé se encuentra ubicado en el Macizo Colombiano con la jurisdicción de los departamentos del Cauca y Huila comprende una extensión de 83000 ha, dentro de los siguientes municipios: Puracé, Sotará, San Sebastián, La Vega, Santa Rosa en el Cauca y La Plata, La Argentina, San Agustín, Isnos y Salado Blanco en el Huila (Apolinar *et al.*, 2009; Muñoz *et al.*, 2009).

El área de estudio, se encuentra en el Parque Nacional Natural Puracé, la cual tiene como objetivo garantizar la conservación de las zonas de vida Bosque Sub-Andino, y Andino y Alto Andino, garantizar la conservación de poblaciones viables, de especies de fauna y flora endémicas entre ellas, el oso andino o de anteojos (*Tremarctos ornatus*), el venado conejo (*Pudu mephistophile*), la danta o tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*), el tigrillo gallinero (*Lopardus tigrina*), el puma (*Puma concolor*) y frailejones (*Espeletia sp*), pajonales (*Calamagrotis sp*), helechos (*Bleccum sp*) y arbustos (*Ilex myricoides*, *Hypericum sp* y *Diplostephium sp*), de interés sociocultural y de biodiversidad (Vejarano, 2012).

Al Nor-Oriente del Parque Nacional Natural Puracé se encuentran los sectores de Pilimbalá y San Rafael donde se encuentra ubicada la laguna de San Rafael en las coordenadas N 2° 22' 14.3325", W 76° 21' 9.7725" a una altura de 3.300 m.s.n.m (Figura 2).

Presenta un área de espejo de agua de aproximadamente de 15,726 ha con una profundidad promedio de 5 m, alimentada por un promedio semestral de volumen de agua de 205 L/s por parte del afluente Quebrada Chorrillos y una descarga promedio semestral de 251 L/s por el efluente Rio Bedón. Temperaturas promedio de 13 °C, con una precipitación promedio anual de 2000 – 2500 mm. Presenta intervenciones antrópicas, presencia de ganadería para producción de leche, ecoturismo en ocasiones mal direccionado, quemas e introducción de la especie íctica exóticas *Oncorhynchus mykiss* conocida como trucha arcoíris. La cobertura vegetal en los alrededores presenta

características de bosques de páramo, frailejones, chuscales y pajonales (Troyano, 1999; Vidal, 2012; Plaza, 2014).

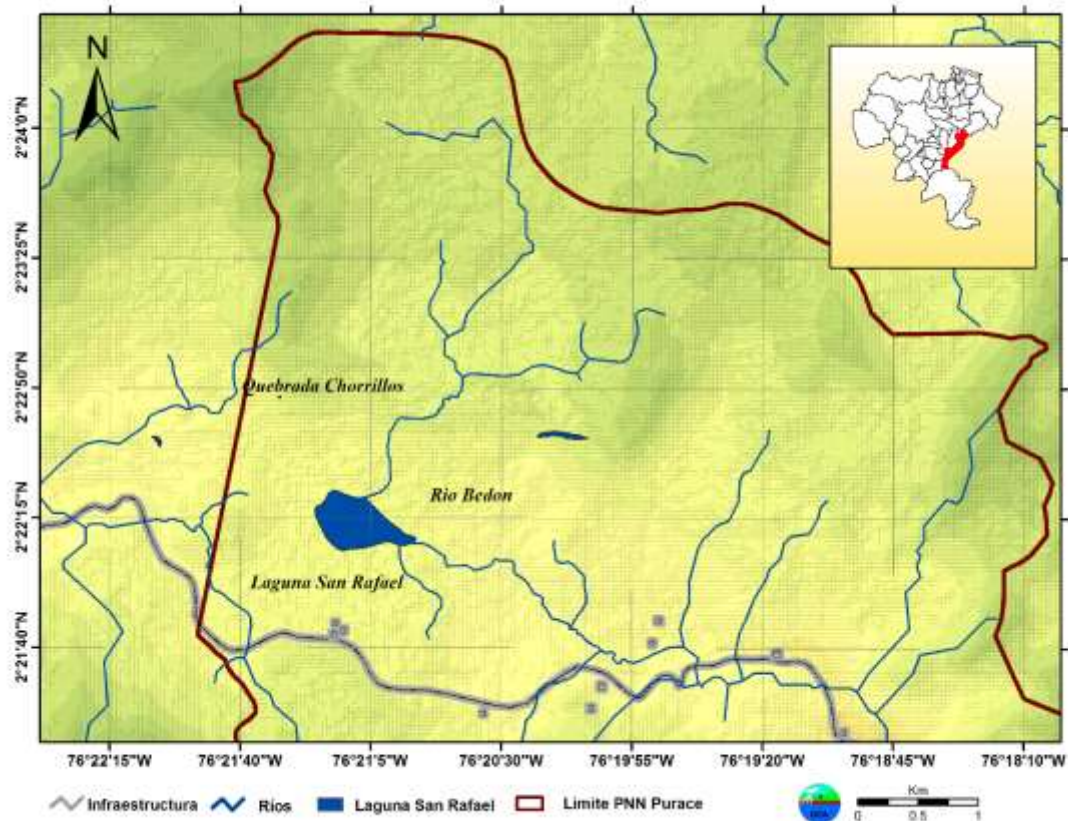


Figura 2. Área de Estudio Laguna de San Rafael – Fuente Grupo de Estudios Ambientales GEA – 2014

Aunque el área de localización es eminentemente de origen volcánico y está compuesta por lava andesítica y dacítica según Flores (1990) citado por (Donato, 2001b), su origen es glaciar con una morrena lateral y otra frontal situadas sobre el valle relleno con acumulaciones flujo-lacustres y sobre una gran extensión de turba (Donato, 2001a), es importante por su belleza escénica, actividades socioculturales y servicios ecosistémicos.

6.2 Factor Sociocultural

Se realizó un taller el 20 de octubre de 2012, en el cabildo indígena de Puracé departamento del Cauca con el objetivo de hacer una retrospectiva del uso de su territorio, historia ambiental con la compañía de la comunidad del Resguardo Indígena Puracé. Se identificaron las actividades productivas, relaciones entre la comunidad, territorio y naturaleza, factores internos y externos que han influenciado en su comunidad entre los periodos 1950 – 2009, 2009 – 2012 y 2012 – 2020. Con ayuda de encuestas y la toma de relatos se elaboró cartografía social desarrollada por los cabildantes de Puracé

Finalmente se identificaron actividades antrópicas, se procedió a analizar esa información con la ayuda de la matriz de influencias dependencias (Figueroa *et al.*, 1998), con el fin de identificar las actividades socioculturales más significantes que generan un impacto sobre la laguna de San Rafael.

Para obtener un mayor entendimiento y tener otra visión sobre las actividades y culturas en el área de estudio se consultó los trabajos de (Guzmán *et al.*, 1996) Geografía Humana de Colombia: Región Andina y una entrevista con el autor del libro Un Viaje Por Paisajes Míticos de Colombia (Faust, 2004) y conversatorios con el personal del parque.

6.3 Método de muestreo Factor Hidrológico

Se realizaron cuatro muestreos, entre los meses Febrero, Marzo, Abril y Agosto¹ de 2013. En la laguna de San Rafael se seleccionaron cinco puntos de muestreo, estos se distribuyeron espacialmente como: punto número uno entrada hacia la laguna de San Rafael Quebrada Chorrillos, punto numero dos salida de la laguna Rio Bedón y los puntos tres, cuatro y cinco distribuidas al interior de la laguna (Figura 3) (Anexo 1).

¹ Este último muestreo se realizó cuatro meses después, por causa de conflicto armado y delincuencia común que ponían en riesgo la integridad de los investigadores como personal de apoyo, guías del Cabildo y personal del Parque Nacional Natural Puracé.

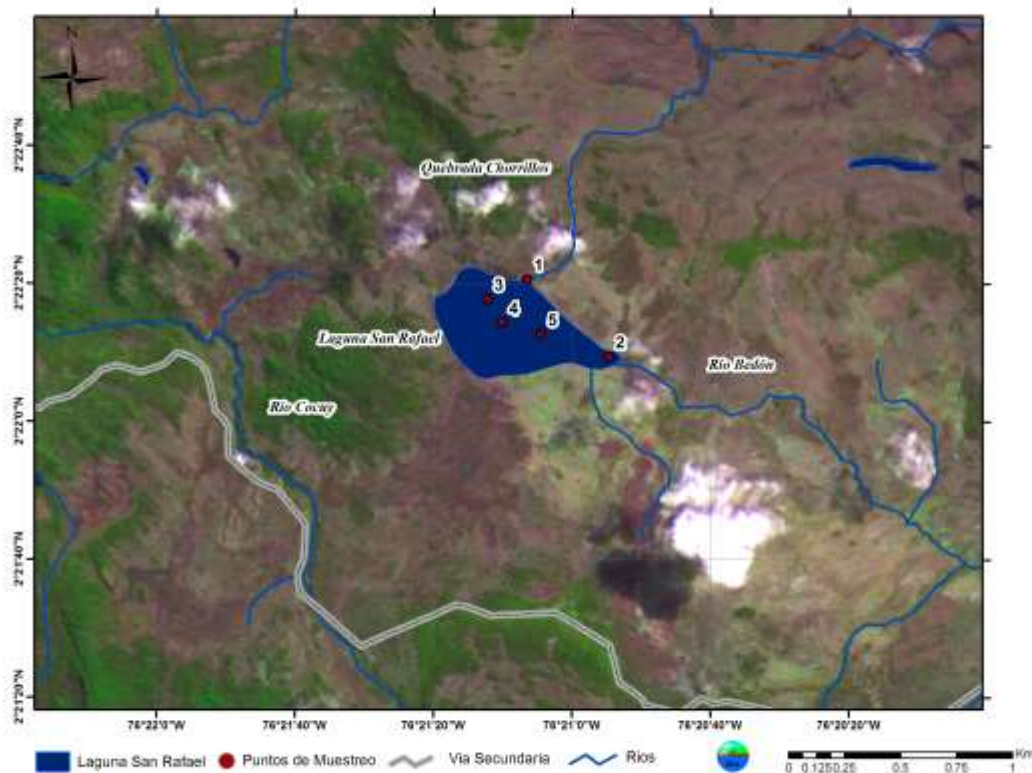


Figura 3. Puntos de Muestreo Laguna de San Rafael - Fuente Grupo de Estudios Ambientales (GEA - 2014)

6.4 Factor Hidrológico

Para la evaluación el factor hidrológico se midió inicialmente aforo de caudal en la quebrada Chorrillos y río Bedón, al interior de la laguna la productividad primaria y clorofila *a*, adicional se midieron parámetros fisicoquímicos del agua, los resultados sirvieron para determinar la calidad y el estado trófico del cuerpo de agua.

6.4.1 Parámetro Hidráulico

Se midió el aforo del caudal y se realizó un gráfico de cada sección del aforo en los puntos de muestro número uno afluente Quebrada Chorrillos y punto numero dos efluente Rio Bedón durante las cuatro jornadas de campo, haciendo uso del medidor de hélice “molinete”.

En campo para los puntos de muestreo uno y dos se tomaron medidas de fisicoquímica del agua: oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, conductividad, salinidad y saturación de oxígeno con la sonda portátil multiparamétrica HACH HQ40d, y se tomaron muestras de 100 mL para análisis de nutrientes en el laboratorio de del Grupo de Estudios Ambientales (GEA), para la medición, obtención y transporte de las muestras de agua se atendieron las recomendaciones de (Wetzel y Likens, 1991; Vasquez, 2001; Roldan y Ramírez, 2008a).

6.4.2 Productividad Primaria

Para determinar el tiempo de incubación, previamente se realizó una salida para estandarizar el método con el propósito de obtener en diferentes tiempos (1, 3 y 5 horas) la productividad primaria en la Laguna de San Rafael. Los puntos tres, cuatro y cinco se encontraban suficientemente alejados de las orillas aproximadamente 40 m para asegurar la toma de eufitoplancton, con tres repeticiones por cada sitio, entre las 10:00 am y 2:00 pm atendiendo las recomendaciones de (Wetzel y Likens, 1991).

Utilizando la metodología propuesta por (Wetzel y Likens, 1991; Roldan y Ramírez, 2008a; Naundorf, 2010), se procedió a determinar la zona fótica del ecosistema, para ello se utilizó el disco Secchi (DS), este dispositivo mide entre el 1 y el 15% de la radiación incidente. Para calcular la extensión total de la zona fótica, se multiplico el valor obtenido con la ayuda del disco por 2.8 factor de zona fótica, con este resultado se determinó la profundidad donde se colocaron las muestras a incubar aplicando la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{-\ln f}{1.7/DS}$$

Donde:

Z: Profundidad de incubación

DS: Medición del disco Secchi.

f: Porcentaje de penetración de la luz (f es un número entre 0 y 1)

Obteniendo las tres profundidades en base al porcentaje de penetración de lumínica 90%, 50% y 10% se procedió a determinar la productividad primaria

por medio del método de botellas claras y oscuras desarrollado por Gaarder y Gran (1927). Se llenaron las botellas Winkler, por duplicado, con la muestra de agua para cada profundidad seleccionada, utilizando una botella de kemmerer de 1200 mL.

Después del tiempo de incubación de cuatro horas, se procedió a medir el oxígeno disuelto de las botellas Winkler con el Kit reactivo para medición de oxígeno disuelto, HI 3810 Marca Hanna y en el laboratorio de Biología de la Universidad del Cauca con el uso de los reactivos Winkler. Obteniendo los valores de oxígeno se consideración los siguientes aspectos según (Roldan y Ramírez, 2008a; Naundorf, 2010):

C_1 = Concentración de oxígeno inicial

C_2 = Concentración de oxígeno al final de la incubación en la botella oscura

C_3 = Concentración de oxígeno al final de la incubación en la botella transparente (iluminada).

Se parte de la medición de la concentración inicial (C_1) de oxígeno disuelto. Al final del tiempo de incubación se medirá la concentración de oxígeno en el frasco oscuro (C_2) y en el frasco claro (C_3)

$C_1 - C_2$ = Consumo respiratorio en el tiempo de incubación

$C_3 - C_1$ = Producción neta

$(C_3 - C_1) + (C_1 - C_2)$ = Producción bruta

6.4.3 Conversión de Oxígeno a Carbono

Según Naundorf, (2010) es más común expresar la producción primaria en términos de carbono fijado que de oxígeno liberado, por los que se convirtieron los valores de oxígeno (O_2) a carbono.

Se asume que una mol de oxígeno (O_2) es liberada por cada mol de dióxido de carbono (CO_2) que es fijada "fotosíntesis $6 CO_2 + 6 O_2 +$ Energía lumínica $C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2$ ". La relación de los pesos moleculares del dióxido de carbono (44) y el oxígeno molecular (32) dará un valor de 1,375 que es un factor que permite convertir el oxígeno molecular liberado a dióxido de carbono consumido. La razón de peso atómico del carbono (12) y del peso molecular del oxígeno (32)

da un factor 0,375 que se utilizara para convertir mg de oxígeno molecular a mg de carbono (Medina, 2008).

El coeficiente de fotosintético (PQ) es un numero adimensional que indica las características de oxígeno y de carbono molecular que interviene en el proceso de la fotosíntesis. Se asume que durante la fotosíntesis se fija solamente una hexosa ($C_6 H_{12} O_6$) entonces la razón O_2 / CO_2 dará un (PQ) de 1.0 pero no siempre es este valor ya que se sintetizan grasas en un grado significativo, la razón toma un valor mayor que uno. Por esto, es costumbre usar el factor de 1,2 para convertir oxígeno molecular liberado por fotosíntesis a carbono fijado (Medina, 2008; Naundorf, 2010). Por esta razón se utilizó el factor de 0,375 según (Tabla 2) tomado de Cole (1983).

Tabla 2. Conversión de oxígeno liberado a carbono fijado. Tomado de Cole (1983) y de Naundorf (2010)

Para convertir	A	Multiplicar por
O ₂ liberado	CO ₂ absorbido	1,146
O ₂ liberado	C fijado	0,312

Los valores estarán dados en (mgC/Lh), se multiplicara por 1000 para expresarlo en (mgC/m³h).

6.4.4 Clorofila α

Según Naundorf (2010), la cuantificación de la clorofila a partir de extractos aporta información acerca de la abundancia del fitoplancton, de la salud y dinámica poblacional de los ensamblajes fitoplanctónicos, la cual se utiliza como indicador de los ecosistemas propiamente. Para la medición de clorofila α se escogió el método monocromático por el método de análisis espectrofotométrico.

Se tomaron muestras de agua por 500 mL (dos réplicas) con ayuda de la botella Kemmerer por cada profundidad a la cual se incubaron las botellas Winkler. Las muestras se colocaron en recipientes plásticos forrados con papel craft, aluminio para evitar el daño de la muestra por la radiación solar, estas se mantuvieron refrigeradas a 4°C.

En el laboratorio se filtró la muestra de 500 mL empleando un filtro de fibra de vidrio de 1,6 µm de abertura de poro y 47 mm de diámetro, se transfirió el filtro a un tubo de centrifuga y se trituro, posteriormente se adicione 10 mL de acetona al 90%. Se dejó en extracción durante 24 horas evitando la exposición a la luz en un refrigerador y se procedió a centrifugar a 3000 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante obtenido se transfirió a la celda del espectrofotómetro para determinar la absorbancia de la muestra a 750nm, y 664 nm, utilizando como blanco el solvente utilizado.

Se acidificó el extracto contenido en el tubo con 0.1mL de una solución 0.1N de HCl. Se Agitó, esperaron 90 segundos y se realizó una nueva lectura a 750 y 665nm. La acidificación permite la descomposición de la clorofila α en feofitina, un pigmento que absorbe prácticamente a la misma longitud de onda de la clorofila α, y que puede por lo tanto conducir a errores en el cálculo final de la concentración del pigmento. Una vez obtenidas todas las lecturas, se restó el valor de la lectura de (750nm) a las lecturas obtenidas antes (664nm) y después de la acidificación (665nm), siguiendo las recomendaciones de Naundorf (2010), se utilizaron los valores corregidos en la siguiente fórmula Lorenzen (1967):

$$\text{Clorofila } \alpha \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{26,7 (664b - 665a) * V1}{V2 * L}$$

Dónde:

26.7 es el factor de corrección para la absorbancia

664b es el valor antes de la acidificación

665a es el valor después de la acidificación

V1 es el volumen del extracto en L

V2 es el volumen de la muestra en m3 86

L es el ancho del tubo (celda) espectrofotométrica

Se estableció el Índice del Estado Trófico (IET) según Carlson (1977) modificada por Aizaki *et al*(1981) aplicando la siguiente ecuación:

$$IET = 10 * (2,46 + \frac{\ln(\text{clorofila } \alpha)}{\ln 2,5})$$

Donde:

Chl es clorofila α (mg/m³)

Ln es logaritmo natural

El resultado del IET se clasifico según la (Tabla 3) de valores del estado trófico.

Tabla 3. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua según Carlson (1977) modificada por Aizaki *et al* (1981).

Estado de Eutrofia	IET	D _s (m)	P _t (mg/m ³)	Clorofila α (mg/m ³)
	0	64	0,75	0,04
Oligotrófico (IET < 30)	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Mesotrófico (30 < IET < 60)	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < IET < 90)	70	0,5	96	56
	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
Hipertrófico (90 < IET < 100)	100	0,06	768	1183
Relación de los parámetros	$\frac{IET_{DS}}{2}$		$2 * IET_{PT}$	$\sqrt{7,8IET_{clorof}}$

6.4.5 Parámetros Fisicoquímicos del Agua

Se midieron en campo los patrones fisicoquímicos oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, conductividad, salinidad y saturación de oxígeno con la sonda portátil multiparamétrica HACH HQ40d. Se tomaron muestras de agua de las diferentes profundidades anteriormente mencionadas para los puntos tres, cuatro y cinco utilizando la botella Kemmerer. Según las indicaciones de (Wetzel y Likens, 1991; Vasquez, 2001; Roldan y Ramírez, 2008a) (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros Físicoquímicos

Variable	Unidad	Variable	Unidad
Temperatura Hídrica	(°C)	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L
Conductividad	µS/cm	Amonio (NH ₄)	mg/L
Solidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	Nitritos (NO ₂)	mg/L
Salinidad	ppt	Nitratos (NO ₃)	mg/L
Saturación de Oxígeno (%OD)	%	Fosfatos (PO ₄)	mg/L
		pH	[H ⁺]

6.5 Factor Morfológico

Para evaluar la morfología se realizaron polígonos sobre fotografías aéreas de la laguna de San Rafael, para identificar cambios espacio-temporales en el área del espejo de agua, teniendo en cuenta que este parámetro varía para los años 1965, 1979, 1987, 1991 y 2013. A través del uso de fotografías aéreas en formato Tif se georreferenció todo el material por medio del Software Global Mapper v16.

6.6 Análisis de datos

Para establecer si existían diferencias significativas en las variables físicoquímicas, biomasa, productividad primaria, respecto a los meses, puntos de muestreo y periodos de intensidad lumínica, se verificaron inicialmente los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas a través del test de Shapiro-Wilks.

Los datos no presentaron una distribución normal. Fue necesario aplicar el contraste no paramétrico de Kruskal–Wallis para determinar si hay diferencia significativa entre las variables físicoquímicas, biomasa y productividad primaria, respecto a los meses, puntos de muestreo y periodos de intensidad lumínica. Los análisis que presentaban diferencias significativas posteriormente fueron analizados con la prueba de U Mann Whitney para comparar entre los

meses, puntos de muestreo y periodos de intensidad lumínica. Las anteriores pruebas se aceptaron con una significancia estadística o probabilidad de error de ($p < 0,05$).

Se analizaron las variables cuantitativas con el objetivo de determinar si estas estaban asociadas, por medio de la prueba no paramétrica Spearman con cualquier tipo de asociación. Se analizó que tipo de curva se ajustaba, teniendo en cuenta modelos cuadráticos, cubica, potencial y exponencial que describían el comportamiento de las variables. Se aceptaron los modelos en base al mayor (r^2) variabilidad explicada.

Para los análisis, estadísticos, georeferenciación y creación de los mapas de cartografía social se usaron los programas, SPSS Statistics 21, Global Mapper 16, ArcMap 10.

6.6.1 Evaluación de la Integridad Ecológica

Para el análisis de Integridad Ecológica, se utilizó la metodología propuesta por Zambrano *et al* (2007). Los atributos evaluados fueron: el factor hidrológico, morfológico y sociocultural.

Se identificaron:

- Un número limitado de elementos de conservación.
- Atributos ecológicos claves propios del ecosistema.
- Rangos aceptables de variación de cada atributo.
- Clasificación del estado de conservación del elemento basado en analizar si los atributos del elemento se encuentran dentro de rangos aceptables de variación.

La evaluación de la (IE) que propone Zambrano y colaboradores (2007), es un elemento fundamental del programa de monitoreo, que es necesario analizar junto con otras presiones que afectan los valores objeto de conservación. Aunque esta propuesta no mide directamente aspectos relacionados con las presiones que afectan los valores objeto de conservación, como las actividades socioculturales que allí se desarrollan en el área protegida. Es importante medir

inicialmente estos atributos ya que proporciona indicios acerca del efecto que está generando las presiones sobre estos atributos “la productividad, biomasa de la laguna, fisicoquímica del agua, caudal, área de espejo de agua, factores socioculturales, y cartografía social”.

Teniendo en cuenta lo anterior, se clasificaron los elementos en base a los resultados de cada análisis de los valores objeto que proporcionara elementos significativos que demostraran sus características. Para esto se utilizó la escala de valores (Tabla 5) y finalmente se clasifico de acuerdo con el promedio simple de los elementos de conservación para determinar el grado de integridad ecológica en la laguna de San Rafael (Tabla 6).

Tabla 5. Descripción de las escalas de clasificación empleadas para los indicadores y elementos de conservación Tomado de (Zambrano *et al.*, 2007).

Clasificación	Valor	Descripción
Para indicadores		
Muy bueno	4	El indicador se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación.
Bueno	3.5	El indicador se encuentra dentro de un rango de variación aceptable, aunque puede requerirse alguna intervención del hombre para su mantenimiento.
Regular	2.5	El indicador se encuentra dentro de un rango de variación aceptable y requiere intervención humana para su mantenimiento. Si no se da seguimiento, el objeto de conservación será vulnerable a una degradación severa.
Pobre	1	Si se permite que le indicador se mantenga en esta categoría en el largo plazo hará la restauración o preservación de desaparición del objeto de conservación prácticamente imposible.

Tabla 6. Valor de Integridad Ecológica para el área protegida de acuerdo al promedio obtenido en la evaluación de los elementos de conservación Tomado de (Zambrano *et al.*, 2007).

Rango	Valor indicador de Integridad Ecológica	Descripción
> = 3.75	5	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en un estado deseable requiriéndose mantener el tipo de manejo que se ha llevado a cabo en los últimos años.
3.0 – 3.74	4	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en un estado deseable, pero se requiere mejorar los esquemas de manejo para evitar que algunos valores objetos de conservación se mantengan en alto riesgo.
1.75 – 2.99	3	La integridad ecológica del área protegida se encuentra en un estado no deseable y requiere intervención humana para su mejoramiento. Si no se da seguimiento, la persistencia de los objetos de conservación esta en alto riesgo.
< 1.75	2	Si se permite que la integridad ecológica se mantenga en esta categoría la restauración o prevención de desaparición de los objetos de conservación será prácticamente imposible (Ej., complicada, costosa y con poca certeza para revertir el proceso de alteración).
0	1	La evaluación no se ha realizado.

7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Observaciones de la zona de estudio

Las observaciones realizadas en los meses de muestreo, presentaron las siguientes características:

- Febrero 25, 26 y 27 del 2013, en las noches se presentaron precipitaciones que se extendieron hasta las horas de muestreo “brisa” constante, con nubosidad alta y fuertes vientos. Al acercarse el medio día, la lluvia disminuyó pero se mantuvo constante la nubosidad impidió los rayos del sol. Presencia de ganadería entre la carretera y la laguna. Un promedio de intensidad lumínica de los cinco puntos de muestreo de 36 Lux.
- Marzo 18, 19 y 20 del 2013, los días muy soleados, con poca nubosidad hasta las 16:00 horas del día, vientos fuertes. Vegetación entre los puntos uno y dos perteneciente a la familia Bromeliaceae presentaban deterioro por consumo, posiblemente por la presencia del Oso de Anteojos *Tremarctos ornatus*, ganadería por los alrededores de la laguna. Un promedio de intensidad lumínica de los cinco puntos de muestreo de 3567 Lux.
- Abril 22, 23 y 24 del 2013, el primer día nublado, con precipitaciones bajas pero constantes, durante todo el día. Los siguientes días completamente soleados con una temperatura alta, sin nubosidad pero con vientos constantes que se fueron incrementando al llegar la tarde. Presencia en horas de la tarde de un grupo grande de turistas. Un promedio de intensidad lumínica de los cinco puntos de muestreo de 2731 Lux.
- Agosto 4 y 5 del 2013, nubosidad constante durante los periodos de muestreo y precipitación fuerte y constante, vientos fuertes pero intermitentes, muévame presencia de ganadería durante el desplazamiento desde la carretera hacia la laguna. Un promedio de intensidad lumínica de los cinco puntos de muestreo de 16 Lux.

7.2 Factor Sociocultural y Cartografía Social

Los resultados de esta jornada, fueron realizados por la comunidad en mesas de trabajo divididas en las diferentes temporalidades, mientras se respondían interrogantes con el fin de realizar una reconstrucción del uso de las tierras por medio de cartografía social e historia ambiental (Anexo 2 y Anexo 3).

7.2.1 Periodo 1945 – 2009

En el año de 1945 empezaba la minería de azufre de manera rudimentaria, de poca producción. Se cocinaba el azufre en ollas de barro cerca al cabildo, las mujeres eran las que participaban en las labores de procesamiento y se transportaba en bestias o bueyes. Después del año de 1980 hasta el año 2009 se mantienen algunos cultivos como el ulluco, la papa, pero en las variedades comerciales: amarilla, yema de huevo y la parda (Rusia) en menor cantidad, sabanera, ica, manzana, san Jorge y la rosada, estos se cultivaban en las partes altas, la cebolla, ajo, trigo, maíz se cultivaban en la parte baja. En estos tipos de cultivos no usaban productos químicos, cultivos totalmente orgánicos.

La minería cambia la forma de producción de leña por el carbón, esta es practicada en mayor intensidad hasta 1990, debido a la creciente competencia que introduce maquinaria moderna, hace disminuir la extracción de azufre, esta desplaza las actividades agrícolas como el maíz, trigo, ulluco y en menor porcentaje la papa.

Entre los años 1970 – 1990 hay un cambio en las actividades de sustento para la comunidad, se pasa de la agricultura a la ganadería inclinándose por la producción de leche, disminuye zonas de cultivos para dar paso a potreros y pastizales. La ganadería presenta inconvenientes ya que no está tecnificada y el estado exige normas para la producción.

Se observan cambios en el ambiente, las consecuencias de la minería generan contaminación por gases y acidez (Vidal, 2004; Perez, 2008), que cambian las propiedades del suelo generando suelos ácidos con lo cual la población se ve obligada al uso de químicos para disminuir la acidez de los suelos con la finalidad de cultivar.

7.2.2 Periodo 2009 – 2012

La principal actividad que se encontró en esta temporalidad es la ganadería extensiva la cual es de doble propósito carne y leche, siendo la leche la mayor utilizada para el sustento de la comunidad, tienen alrededor de 4 a 8 cabezas de ganado por familia. Los cultivos de pancoger son también sustento para la comunidad, son de consumo propio y generan ingresos adicionales en los días de mercado en el municipio de Puracé.

La minería se sigue practicando pero está en desventaja ya que no se ha invertido en maquinaria moderna, aunque su extracción es de 600 toneladas por mes aproximadamente permitiendo un sustento económico constante a las personas que ejercen esta actividad. La crianza de especies menores “corral” con la finalidad de consumo propio, permitiendo una fuente de alimento para las familias en épocas de escases, entre: gallinas, bimbos, curíes, pavos y cerdos.

Debido a la belleza del lugar se implementa de una manera informal el turismo ecológico, por parte de la comunidad en temporadas de vacaciones, semana santa y fin de año, turistas de toda parte del país y extranjeros que visitan las termas de San Juan, la cascada del río Bedón, la piedra del Cóndor, el volcán Puracé, cabañas de Pilimbalá y la laguna de Andulbio “San Rafael”.

7.2.3 Periodo 2013 – 2020

Las actividades y procesos que se relacionaran con base a la producción y subsistencia para la etnia los Kokonucos son: cultivo de papa, ganadería doble propósito leche y carne (teniendo prioridad hacia la leche), turismo ecológico, cabañas, guianza por senderos ecológicos, cascadas, minería de Azufre (con modificaciones que se esperan a futuro amigables con el ambiente), piscinas (Termas), piscicultura (trucha arcoíris), huertas, Salud (plantas medicinales – medicina alternativa) y educación propia. Se tiene planeado un mejoramiento de vías, ampliación entre veredas, pavimentación hasta el cruce, nuevas líneas de energía y acueducto veredal (comunitario).

7.2.4 Cartografía Social

Los mapas fueron digitalizados según el área de estudio cercana a la laguna de San Rafael, se diferenciaron los cambios temporales y actividades en el sistema lagunar. En el mapa correspondiente al periodo 1980 – 1990 se observa el cuerpo lagunar rodeado del humedal, pastos y ganado y un valle de frailejones, flora y fauna nativa de estos sistemas paramunos y la introducción de la trucha arcoíris (especie exótica) (Figura 4).

El mapa que corresponde a la temporalidad 2009 – 2012 se observa el cambio en el uso del suelo, un área que corresponde a la extracción de madera para uso de la comunidad y para el uso en la extracción de azufre, las barreras geográficas como la quebrada Chorrillos y el río Bedón hacen que presente poca intervención debido a su difícil acceso conservando el valle de frailejones y bosque primario, hay un incremento del pajonal con cambio en la cobertura vegetal y proceso de sedimentación de la laguna (Figura 5)

Finalmente para el periodo 2012 - 2020 la comunidad tiene como prioridad conservar y proteger el páramo, su ideal es que haya bosque de frailejón con un área significativa aunque ligeramente intervenido con ganadería para la producción de leche, implementación de cabañas para actividades de ecoturismo (Figura 6).

Los talleres fueron elaborados por estudiantes de pregrado y de doctorado del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca, dirigido por el profesor, director Apolinar Figueroa Casas Ph.D.

Para el Programa Nacional de Manejo Sostenible Y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: Páramos, (Armero, 2009; Rodríguez *et al.*, 2010), el uso y el deterioro del suelo en los páramos está relacionada con las actividades agrícolas, pecuarias, minería, uso de sus recursos hídricos para proyectos de acuicultura y ecoturismo. Estas actividades generan deterioro en el ecosistema de páramo y conlleva a una alta presión y amenaza tanto por actividades antrópicas insostenibles, como por aquellas que afectan de manera indirecta como el cambio climático.

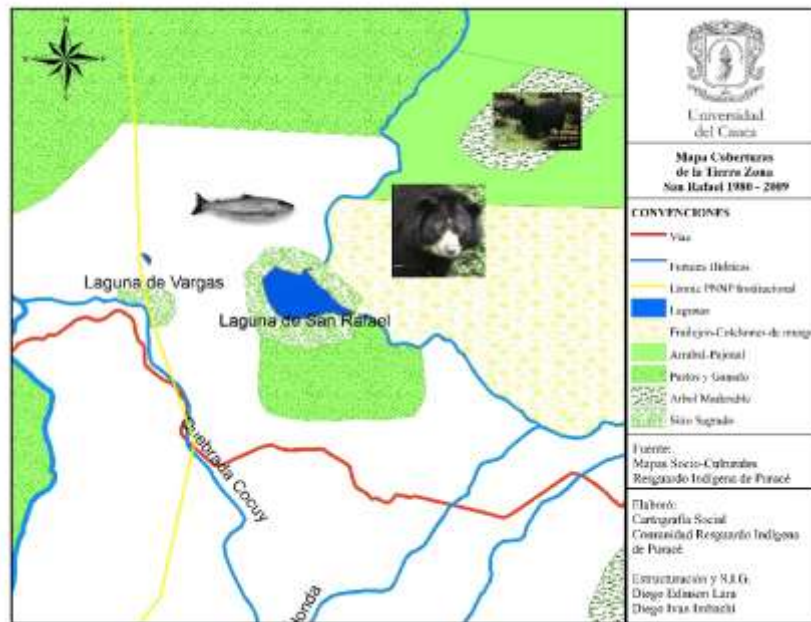


Figura 4. Mapa Historia Ambiental Periodo 1945 – 2009

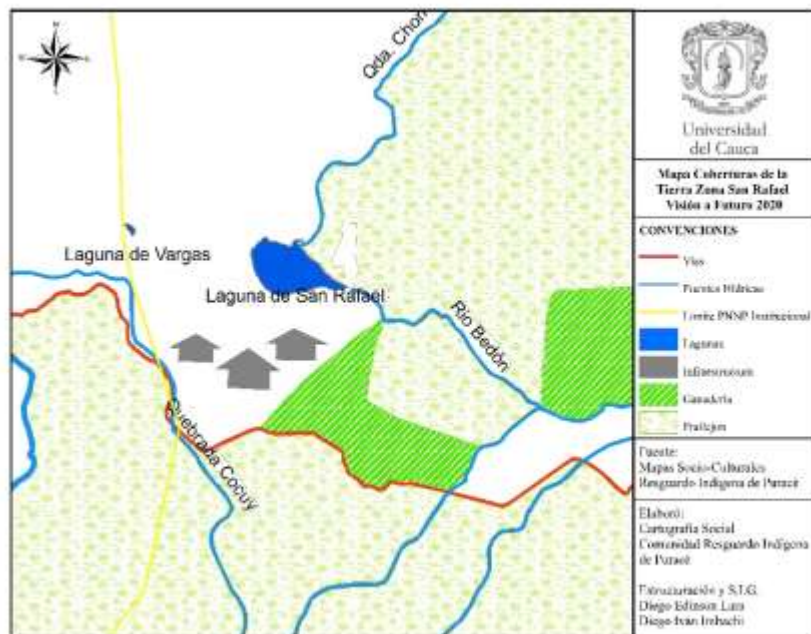


Figura 5. Mapa Historia Ambiental Periodo 2009 – 2012

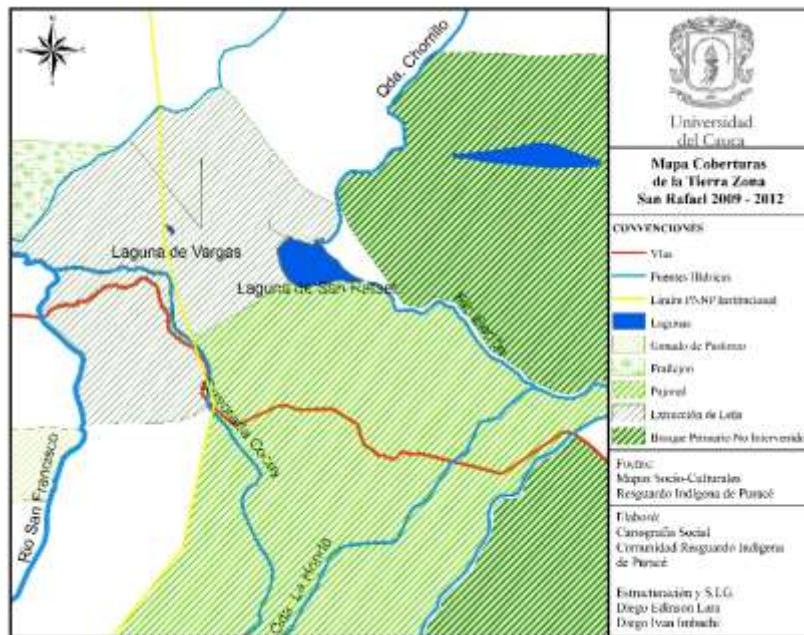


Figura 6. Mapa Historia Ambiental Futuro 2020

Si bien, las actividades mencionadas en las diferentes temporalidades afectan directamente el ecosistema lagunar de San Rafael o llamado también por la comunidad indígena los Kokonucos como la **Laguna de Andulbio**, según el estudio de Faust (2004). Esta es la madre agua que también aparece en las lagunas como una mujer bonita o como una culebra de ojos bonitos y es considerada la protectora de los peces y puede otorgar suerte, pero si se enoja este espíritu, la persona “puede quedar encantada allí para siempre”.

Para este grupo étnico los sitios naturales son considerados sagrados, bravos, peligrosos y fríos, en ellos se incluyen los páramos, lagunas, cerros, abismos, volcanes, cauces de agua, grandes bosques y pantanos. En estos sitios viven jucas y cocos, vigilantes capaces de robar el espíritu personal y causar enfermedades a quienes no siguen las normas para entrar a ellos (Mayorga, 1992; Faust, 2004).

Se evidencia que alrededor de la laguna de Andulbio no hay presencia de agricultura ni de minería ya que estas se encuentran alejadas de la zona de estudio aproximadamente unos 10 km aunque hay influencia de ganadería

dirigida a la producción de leche, esta última no es extensiva y significativa, estos organismos generan procesos de entronización a causa del pisoteo, cambio de la cobertura vegetal por el desplazamiento de estos con el objetivo de alimentarse.

Según Guzmán *et al* (1996) esta actividad ganadera por parte de los Kokonucos continua debido a su rentabilidad y porque ésta cuenta con más apoyo de las entidades del sector, en cambio con la agricultura corren mayores riesgos por la fluctuación de los precios en los insumos y el mercadeo, además de fenómenos naturales como heladas, vientos, lluvias y problemas fitosanitarios. Pero si esta actividad ganadera no se regula puede ser uno de los factores que aceleren los procesos de eutrofización (Armero, 2009), generando daño en la cobertura vegetal, afectando el paisaje como los procesos biogeoquímicos, hidrológicos por causa de la materia orgánica producida por estos organismos.

El ecoturismo en la zona de estudio es una de las actividades que no presenta control sobre las condiciones en las cuales se desarrolla, puede generar transformaciones en el paisaje y acelerar los procesos de eutrofización de la laguna como de la fisionomía del suelo a causa de residuos sólidos. Hace falta un programa bien establecido mancomunado con la comunidad del sector y la entidad de Parques Nacionales Naturales que puedan administrar esta actividad con ayuda plan de manejo, educación ambiental encaminada a buenas practicas ecoturísticas.

La visión que desea la comunidad en el sector de la laguna de Andulbio es tratar de recuperar parte del paisaje, cambiando el uso del suelo como: el pasto para ganado, árbol maderable por especies nativas propias del páramo como frailejones y poder implementar un programa de ecoturismo propio en el sector con infraestructura “cabañas” donde anteriormente se encontraba una y recuperar un sendero con el objetivo de tener una sola vía de acceso a la laguna.

7.3 Factor Hidrológico

7.3.1 Profundidad y Penetración lumínica

En la laguna de San Rafael la profundidad presenta variaciones con un promedio entre los tres puntos de muestreo de 3,43 m. La distancia entre la superficie y la profundidad del punto tres fue de 3,5 m, el punto cuatro de 4,3 m y el punto cinco de 3,5 m. La distancia penetración lumínica empleando el disco de Secchi para el punto tres fue de 2 m, para el punto cuatro de 2,4 m y para el punto cinco fue de 2 m.

El diseño para la incubación de las botellas Winkler estaba planeado para una distribución de la intensidad lumínica en la columna de agua del 90%, 50% y 10%, pero no fue posible debido a que la intensidad lumínica, cubría la distancia entre la superficie y profundidad de la laguna en los tres puntos de muestreo, esto se debe a que la distancia de la zona fótica calculada teóricamente sobrepasaba la distancia de la profundidad de la laguna, con lo cual las distribuciones sobre la columna de agua fueron 90%, 50% y 40% de la luz incidente (Figura 7).

La energía lumínica en la columna de agua presento una distribución homogénea abarcando la distancia desde la superficie hasta su profundidad, durante las horas de muestreo. Este comportamiento se atribuye a que la dispersión es un cambio de la dirección de la luz sin pérdida de la energía y a las partículas suspendidas orgánicas o inorgánicas, estas presentan bajas concentraciones y no limitan la penetración de la luz en la columna de agua y aumenta la absorción de la energía lumínica de los organismos fotosintetizadores o productores primarios macrófitas y fitoplancton (Roldan y Ramírez, 2008a)

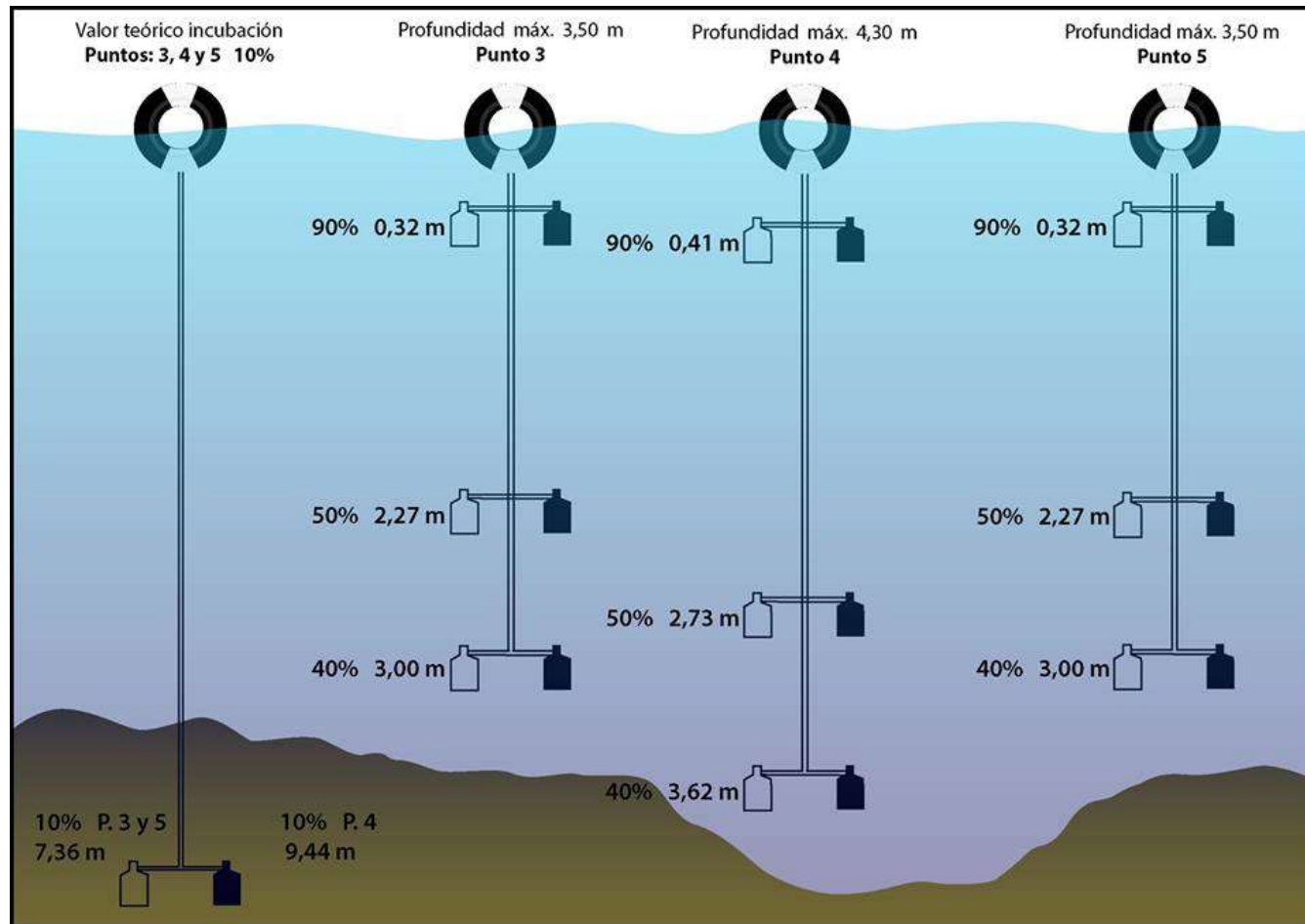


Figura 7. Distribución botellas Winkler - Método botellas claras y oscura
Figura realizada por Valencia Santiago, Quiñones Luisa e Imbachi Diego

7.3.2 Análisis Estadísticos

Los valores de fisicoquímica no presentaron distribución normal, estos fueron analizados posteriormente por pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis (Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7) y U Mann Whitney (Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10 y Anexo 11).

Las variables que presentaron diferencias significativas teniendo en cuenta su comportamiento en los meses de muestreo fueron temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y fosfatos (Anexo 4). Con respecto a los puntos solo se encontraron diferencias en la salinidad y saturación de oxígeno (Anexo 5) y en la profundidad se encontró diferencia en la salinidad (Anexo 6)

Las mayores diferencias se encontraron entre los meses Febrero y Marzo, estos presentaron diferencias en las variables temperatura, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y fosfatos, el mismo número de variables se vieron entre los meses Febrero y Abril temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y nitritos (Anexo 8).

La variable de mayor cambio con respecto a los meses fue la temperatura, seguida por el oxígeno disuelto, nitritos y fosfatos, las que presentaron poco cambio entre los meses fueron, conductividad, sólidos disueltos y nitratos. Finalmente se analizaron si había correlaciones entre las variables fisicoquímicas por medio del análisis de Spearman (Anexo 12).

La prueba de Spearman (Anexo 12), muestra los resultados de correlaciones para los valores de fisicoquímica no paramétricos. Entre las asociaciones que se encontraron por medio de los análisis de regresión estimación curvilínea se graficaron los más significantes y estos como expresaba su comportamiento según los gráficos, entre los modelos lineal, cuadrático, cubico, potencial y exponencial.

La conductividad con respecto a los sólidos disueltos tiene una correlación positiva a mayor conductividad mayor los sólidos disueltos totales con un gráfico de características cubicas. Los sólidos disueltos totales presentan una

correlación negativa exponencial y un comportamiento con tendencia a disminuir conforme aumenta el oxígeno disuelto (Figura 8 Figura 9).

La correlación de la clorofila α , se da positiva 0,334 con una significancia de 0,027 frente a la saturación de oxígeno (<clorofila α , mayor saturación de oxígeno) (Figura 10)

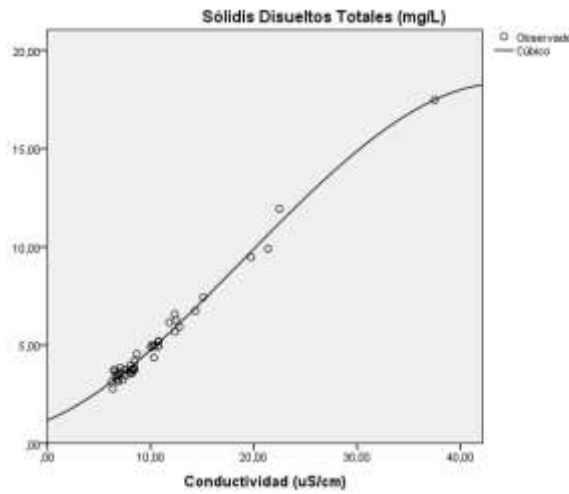


Figura 8. Conductividad vs Solidos Disueltos

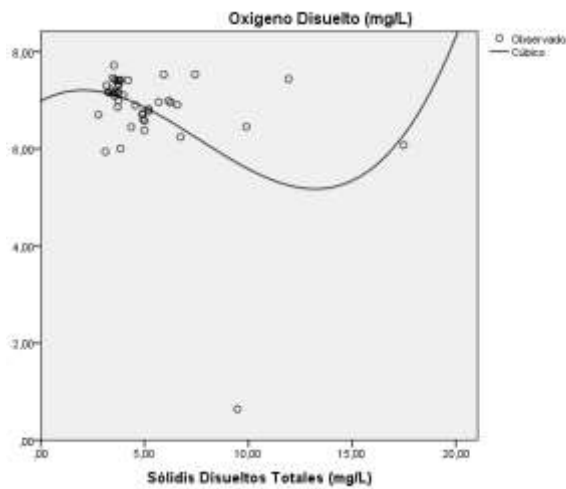


Figura 9. Solidos Disueltos Totales vs Oxígeno Disuelto

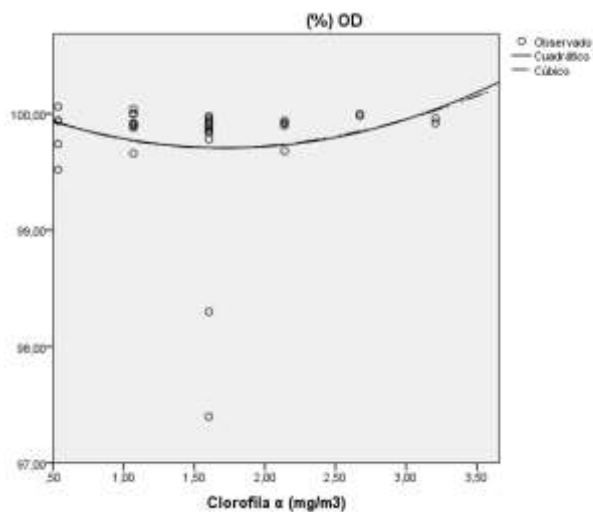


Figura 10 Gráfico de Saturación de Oxígeno vs Clorofila α

7.3.3 Productividad Primaria

El promedio de producción primaria en los meses de muestreo fue de 95,55 mgC/m³h, un mínimo de 39 mgC/m³h en el mes de agosto y máximo de 257mgC/m³h el mes de marzo (Tabla 7). El mes que presento una mayor productividad primaria bruta fue el mes de marzo en contraste del mes de agosto que presento la menor productividad primaria con respecto a los meses de muestreo. A pesar de que la productividad primaria presento una tendencia a aumentar en febrero y marzo, esta fue disminuyendo hacia los meses de abril y agosto (Figura 11).

Tabla 7. Valores productividad primaria bruta durante los periodos de muestreo

Punto	Profundidad	Febrero	Marzo	Abril	Agosto	Promedio
3	a	132,6	93,6	54,6	70,2	124,8
	b	93,6	148,2	54,6	46,8	114,4
	c	93,6	156	54,6	78	106,6
4	a	156	187,2	54,6	46,8	132,6
	b	156	202,8	54,6	39	153,4
	c	132,6	257,4	46,8	78	187,2
5	a	85,8	117	78	23,4	62,4
	b	93,6	109,2	85,8	46,8	65
	c	93,6	148,2	39	31,2	46,8
Valores mgC/m ³ h				Promedio - 95,55		

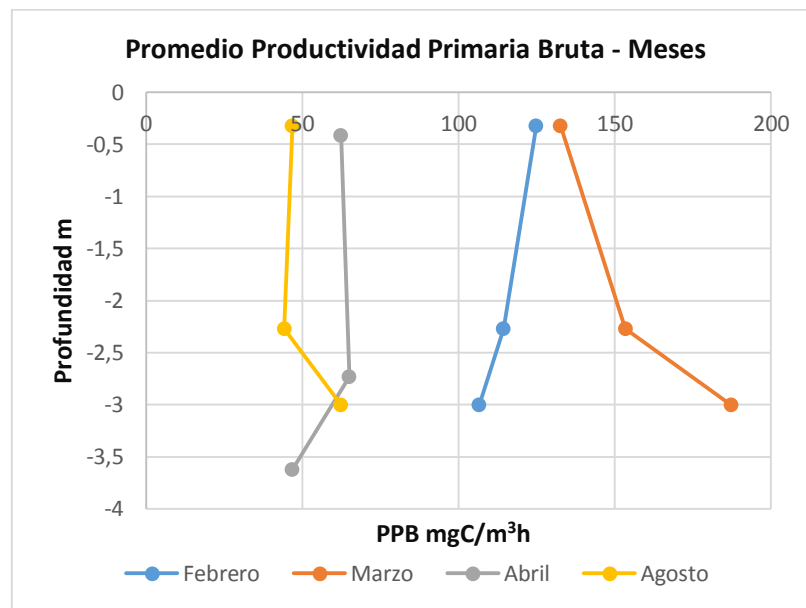


Figura 11 Comportamiento temporal de la producción primaria, promedio de los datos para todas las profundidades en cada mes.

Los análisis estadísticos de Kruskal-Wallis arrojó diferencias significativas en la producción primaria bruta para los meses de muestreo (Anexo 4) y la prueba de U Mann Whitney presentó diferencia significativa entre los meses, febrero y abril, febrero y agosto, marzo y abril, marzo y agosto (Anexo 8). Las correlaciones Spearman (Anexo 12) las variables cuantitativas, conductividad $\mu\text{S/cm}$, nitratos $\text{NO}_3 \text{ mg/L}$ y fosfatos $\text{PO}_4 \text{ mg/L}$, se observaron correlaciones

positivas, (<Carbono Fijado) (<Nitratos y <Fosfatos) y correlación negativa (<Carbono Fijado) (>Conductividad) (Figura 12).

Aunque el comportamiento de la productividad primaria no fue dependiente de factores como profundidad, puntos e intensidad lumínica, esta presentó gran dependencia con respecto a los meses de muestreo. La variación temporal de la productividad primaria en la laguna de San Rafael puede estar relacionada con la disponibilidad de los nutrientes, estos presentaron una correlación positiva para la productividad primaria, la presencia de estos nutrientes son indicadores de la productividad en los sistemas acuáticos (Figura 12).

La profundidad donde fueron colocadas las botellas Winkler en la columna de agua para la medición de la productividad, no incidió en los resultados, ya que la dispersión de la radiación solar entre la superficie y el fondo “zona trofólitica”, que no fue diferenciada en el estudio, presentó una homogeneidad, generando poca diferencia de radiación entre los puntos de muestreo, tres, cuatro y cinco y la estratificación vertical a, b y c, donde se midió la productividad primaria.

Si al comparar los resultados obtenidos por de Medina (2008), con la productividad primaria en la laguna de San Rafael que presentó una circulación de volumen que ingresa a la laguna por el afluente “quebrada Chorrillos”, los fuertes vientos durante el muestreo y la salida de agua por el efluente “río Bedón”, estos no permitieron la formación estable de las tres zonas de la región limnética o pelágica que usualmente presenta un lago, según Roldan y Ramírez (2008b): zona trofógena dividida en fótica y eufótica donde ocurre la producción primaria, zona de compensación donde la producción es igual al consumo y la zona trofólitica o afótica donde ocurre el consumo y mineralización de la materia orgánica.

Aunque la temperatura no se correlacionó con la producción primaria (Anexo 12), debido a la estabilidad térmica en la columna de agua durante los meses del muestreo. Se puede concluir que en el mes febrero y marzo presenta una condición mesoproductiva y en los meses abril y agosto presenta una condición oligoproductiva (Margalef, 1983; Esteves, 1988; Aguirre, 2013), contrario a lo

expuesto para los valores de temperatura e intensidad lumínica (Wetzel y Likens, 1991; Medina, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b).

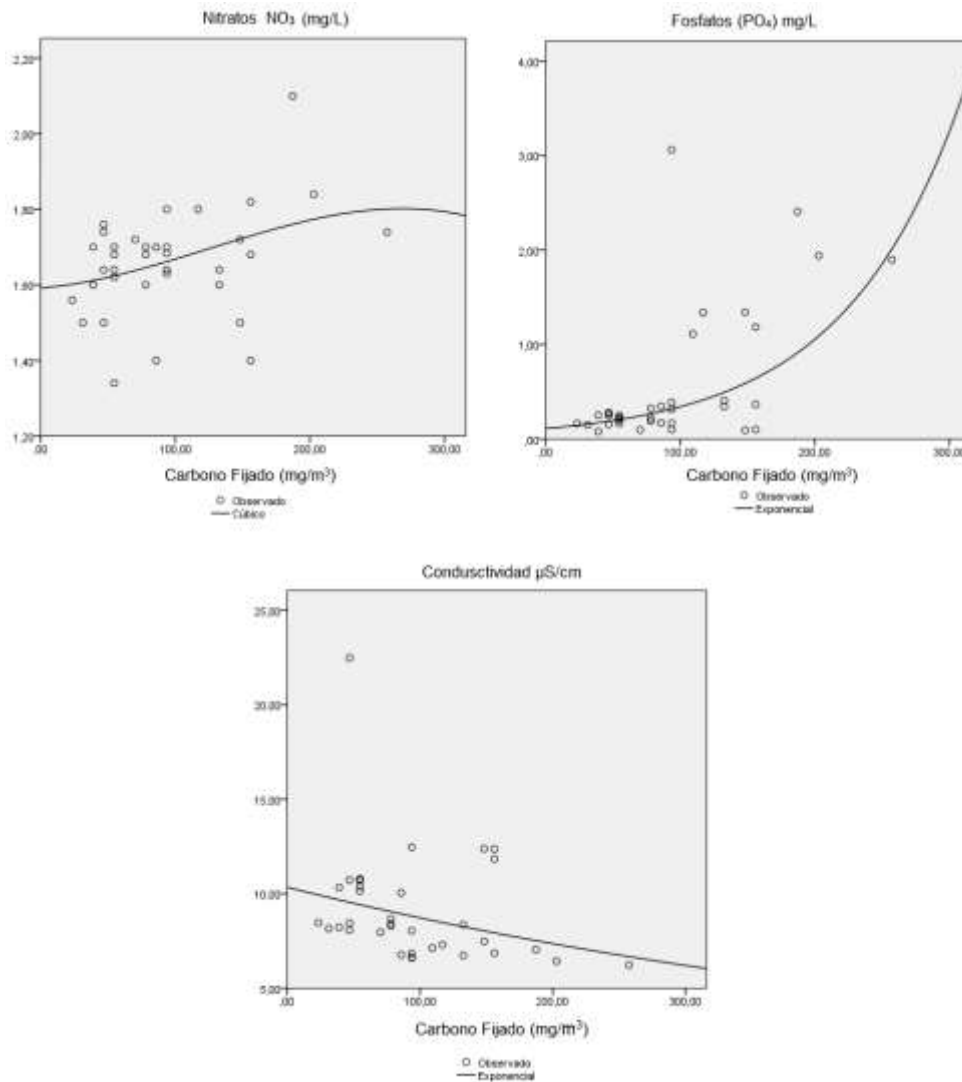


Figura 12. Valores de Nitratos, Fosfatos y Conductividad vs Carbono Fijado

7.3.4 Clorofila α

El promedio de la clorofila α en los tres puntos de muestreo fue de 1,5295 mg/m³, un mínimo de 0,53 mg/m³ en el mes de agosto y un máximo de 3,20 mg/m³ en el mes de febrero. Los valores de clorofila α con respecto a las profundidades presento un promedio de, 90% intensidad lumínica de 1,7 mg/m³,

para el 50% de 1,39 mg/m³ y cerca al fondo 40% de 1,51 mg/m³. La clorofila α presento una mayor cantidad en el mes de marzo y un bajo valor en el mes de agosto (Figura 13).

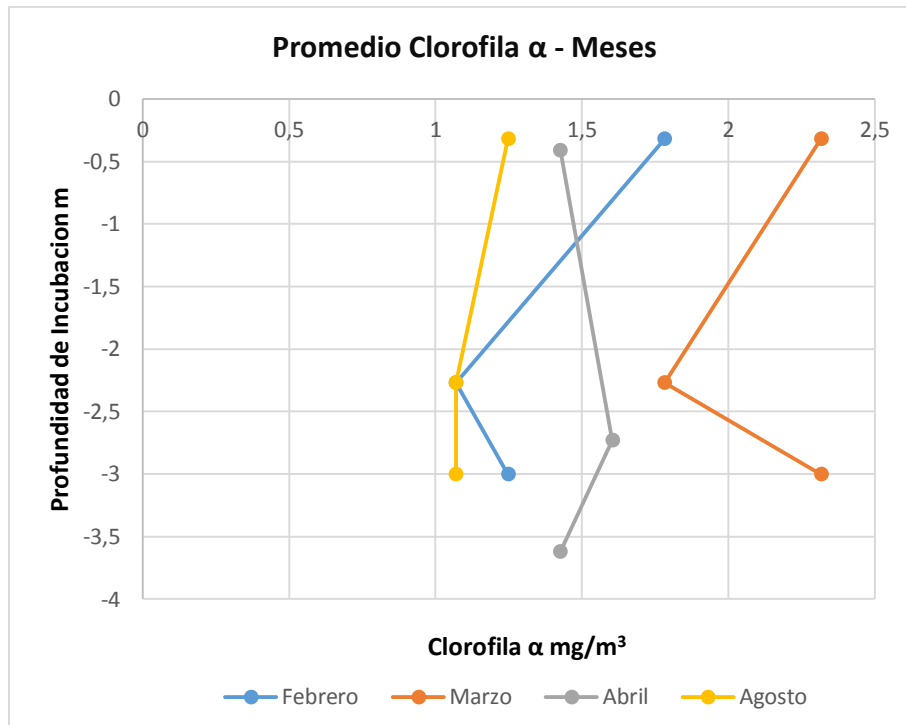


Figura 13. Valores promedios de clorofila α , con respecto a los meses de muestreo 1 – Febrero, 2 – Marzo, 3 – Abril y 4 – Agosto

Los resultados de las pruebas estadísticas de la clorofila α , no presentaron diferencias significativas según el contraste de Kruskal-Wallis entre los meses, puntos, profundidad e intensidad lumínica (Anexo 4Anexo 5Anexo 6Anexo 7)

Investigaciones realizadas por (Zamora *et al.*, 1994; Donato, 2001b; Helbling *et al.*, 2001; Gunkel y Casallas, 2002; Pérez *et al.*, 2002; Medina, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b; Naundorf, 2010; Aracena *et al.*, 2011), muestran la importancia de las variables micro-climáticas que son determinantes en la clorofila α , así mismo se puede ratificar que la disponibilidad de los nutrientes y las concentraciones relativas, junto con la competencia interespecífica, presenta influencia en la biomasa, la estructura de la comunidad algal y las variaciones

estacionales (Donato, 2001a). Con lo anterior se puede inferir que la biomasa (clorofila α) se encuentra relacionada directamente con la producción primaria, ya que los eventos de estratificación y mezcla determinan su concentración, evidenciándose relación con la transparencia y la profundidad. (Montoya y Aguirre, 2010).

7.3.5 Físicoquímica del Agua

Los parámetros físicoquímicos de la laguna de San Rafael, Quebrada Chorrillos y Río Bedón (Anexo 13), se caracterizan por presentar aguas con temperaturas frías, con un pH ligeramente ácido y estable durante los meses, punto y profundidad de muestreo. Los valores de concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación presentan baja variación, situación que se puede atribuir al constante movimiento a causa del viento y movimientos hidráulicos.

La Temperatura hídrica: Presento cambios durante todos los meses de muestro en los cinco puntos tomados en el área de estudio, presentando un valor máximo en el mes de marzo con un promedio de 15,2 °C en el punto número uno y un valor mínimo en el mes de agosto, punto uno de 8,45 °C. Estos cambios corresponden a los periodos de intensidad lumínica y periodos de alta como baja precipitación que se encontraron al momento de obtener los datos (Anexo 13).

Esta variable: no es dependiente de los puntos de muestreo, profundidad e intensidad lumínica, pero presenta dependencia conforme a los meses, esta dependencia corresponde a que cada uno de los meses tiene características ambientales y micro-climáticas diferentes y difiere con lo expresado por Ruttner (1975) citado por Roldan y Ramírez (2008a) afirma *“a medida que nos acercamos a los trópicos es menor la variación anual de temperatura, tanto del aire como la del agua y por tanto, más reducida la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo de los lagos tropicales”*.

En los puntos tres, cuatro y cinco al interior de la laguna presentaron valores muy similares conforme a los niveles a, b y c donde se tomaron las medidas, en estas no se observaron grandes cambios en unidades °C que pudieran

estratificar el sistema lagunar, este tipo de sistemas lagunares de origen glaciar se clasifican como polimicticos fríos (Wetzel y Likens, 1991; Donato *et al.*, 1996; Donato, 2001b; Alvial *et al.*, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b; Vejarano, 2012)

Oxígeno: Los resultados de esta investigación muestran valores que no cambian durante los puntos, profundidad e intensidad lumínica, pero presenta diferencias entre los meses (Anexo 13), esto se debe a que las fuentes principales de oxígeno como el intercambio gaseoso con el medio atmosférico, procesos fotosintéticos de los productores primarios, vientos fuertes y aporte de caudal de la quebrada Chorrillos. El oxígeno en aguas naturales presenta variación por procesos físicos, químicos y biológicos, estos cambios están influenciados por la temperatura y condiciones antrópicas o de eutrofización según Muñoz (2007a).

Esta variable presentan similitud a los reportados para cuerpos de agua de origen glaciar (Wetzel y Likens, 1991; Donato *et al.*, 1996; Donato, 2001b; Toro *et al.*, 2012). Valores que muestran gran diferencia reportados por Muñoz (2007a) y Vejarano (2012), muestran valores muy bajos 1 – 4 mg/L para este sistema en el lugar de transición del cuerpo de agua “humedal” donde los procesos de degradación de materia orgánica y sedimentación son mayores que al interior del cuerpo de agua.

Sólidos Disueltos Totales: Presentaron un promedio máximo de 17,48 mg/L en el mes de abril punto uno, los niveles de conductividad durante los cuatro periodos de muestreo, en el punto cinco presentaron semejanza (Anexo 13 y Anexo 14). Los sólidos disueltos aumentaron conforme aumentaba la temperatura, aunque esta baja de 12,5 °C a 10 °C, los sólidos disueltos presenta su mayor incremento de 9 mg/L (Anexo 13). La conductividad presenta muy bajos valores, características de cuerpos de agua oligotróficos (Wetzel y Likens, 1991; Roldan y Ramírez, 2008b; Schmidt-Mumm y Vargas Ríos, 2012; Toro *et al.*, 2012).

Nutrientes: Entre los nutrientes presentaron niveles bajos de Amonio y Nitritos estos no sobrepasaron los valores de 0,17 mg/L siendo estos los más altos y unos valores mínimos que alcanzaban los 0,02 mg/L durante los meses de

muestreo y los puntos en la laguna. Los fosfatos presentaron una uniformidad entre los meses abril y agosto, para todos los puntos de muestreo, no sobrepasando los valores de 0,3 mg/L. Finalmente los Nitratos presentaron los valores altos con respecto a los demás nutrientes analizados para este estudio, estos valores tenían un intervalo de 1,4 mg/L hasta el 1,8mg/L (Anexo 13).

Los nutrientes Amonio, Nitritos, Nitratos y Fosfatos presentan muy baja concentración, estos están determinados por los meses de muestreo, uno de los factores limitantes en la producción primaria (Wetzel y Likens, 1991; Roldan y Ramírez, 2008a) y procesos de eutrofización condición indeseada en los ecosistemas acuáticos según Naundorf (2010).

El Nitrógeno constituye uno de los elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos, varían igualmente con los ritmos de lluvia y sequía en las zonas tropicales (Roldan y Ramírez, 2008a), además del tipo de sustrato y origen del cuerpo de agua (Wetzel y Likens, 1991). Los nitratos y el ion amonio son los más importantes para los ecosistemas acuáticos porque constituyen la principal fuente de nitrógeno para los productores primarios; mientras que el nitrito se encuentra en bajas concentraciones especialmente en aguas bien oxigenadas (Esteves, 1988).

Resultados de anteriores publicaciones de la laguna de San Rafael muestran que estos nutrientes presentan bajas concentraciones (Donato, 2001b), pero algunos valores como el Amonio NH_4 presentan elevadas concentraciones (Muñoz, 2007b), debido a que estas muestras fueron colectadas en el humedal donde las condiciones de eutrofización son mayores a causa de procesos naturales de degradación de la materia orgánica. Pese a esto las condiciones de la laguna en la zona fótica se caracteriza por tener bajas concentraciones en sus nutrientes y es clasificada como un cuerpo de agua oligotrófico y se asemejan a las condiciones de lagunas de origen glacial (Wetzel y Likens, 1991; Donato *et al.*, 1996; Donato, 2001b; Kiersch *et al.*, 2004; Alvial *et al.*, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b).

Los valores de nutrientes reportados por Medina (2008) en la laguna de Aguas Tibias en Puracé Cauca, muestran una clara diferencia entre las

concentraciones de los nutrientes, aunque estos cuerpos de agua presentan una leve cercanía la mayor diferencia radica en que estos cuerpos de agua presentan diferentes orígenes, alterando sus dinámicas hídricas, ecológicas y biológicas.

pH: En la laguna de San Rafael se presentó valores promedio de 6,17 ligeramente ácido (Anexo 13 y Anexo 14) a diferencia de los valores de 7 – 7,2 reportados por Donato (2001b) y de 6 – 7 reportados por Roldan y Ramírez (2008a). Estos valores de 7 – 7,2 aunque distantes en una unidad corresponden a valores predominantes en ecosistemas naturales de alta montaña y de origen glaciar según (Donato *et al.*, 1996; Alvial *et al.*, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b). En la zona de transición de laguna a humedal estos valores corresponden a 7,2 – 7,54 (Muñoz, 2007a), a diferencia de los resultados de 5,13 – 5,14 valores que muestran una mayor acidez, esto posiblemente a causa de procesos de degradación de materia orgánica o a temporalidades al momento de la toma de las muestras (Vejarano, 2012).

El pH no presentó diferencia significativa para la prueba de Kruskal-Wallis contra los meses de muestreo, puntos de muestreo, profundidad e intensidad lumínica (Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7). Presento un comportamiento promedio de 6,17 durante los meses de muestreo con poca acidez y entrando a la escala de medida básica. Estos valores de pH corresponden a aguas naturales de altas montañas (Roldan y Ramírez, 2008a).

7.3.5.1 Productividad Primaria Bruta y Físicoquímica

En el sistema lagunar de San Rafael la Productividad Primaria Bruta (PPB) no presentó diferencias con respecto a las variables intensidad lumínica, profundidad y puntos de muestreo (Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7). El comportamiento de la PPB, presenta una correlación conforme a las variables de oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y nutrientes evaluados, para los puntos tres, cuatro y cinco al interior del cuerpo de agua.

Los valores de oxígeno disuelto tienen un comportamiento estable en 7 mg/L, producido por los organismos foto-sintetizadores, pero con tendencia a aumentar

el carbono fijado. Los sólidos disueltos totales (TDS), presenta un cambio descendente conforme los niveles de PPB aumentan, esto se debe a que el material participado orgánico se encuentran ciertos nutrientes como el Nitrato, Nitrito, Fosfato y Amonio, utilizados por los organismos productores primarios para su metabolismo y fijación. La correlación es inversamente proporcional al aumentar los valores de PPB dados en miligramos de carbono fijado, por metros cubico por hora, disminuye los valores en mg/L de los TDS y nutrientes (Figura 14).

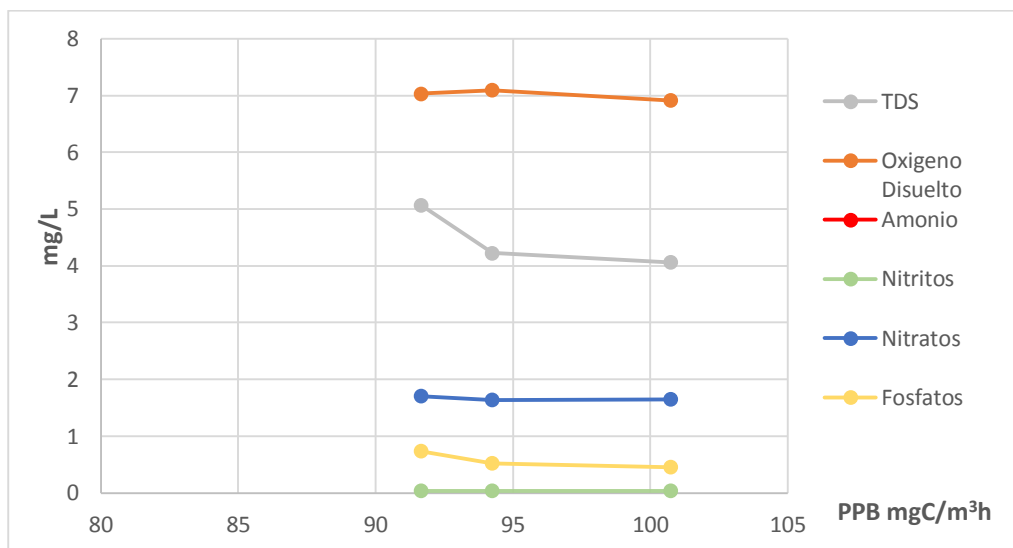


Figura 14 Productividad Primaria Bruta – Físicoquímica

El amonio es el principal producto final de la descomposición de la materia orgánica, realizada por las bacterias heterótrofas y de la excreción de los animales acuáticos, este nutriente en los cuerpos de agua continentales se presenta principalmente como NH_4^+ y como NH_4OH , siendo este último altamente toxico para la biota acuática (Wetzel y Likens, 1991; Roldan y Ramírez, 2008b). Las proporciones entre NH_4^+ y H_4OH dependen de las dinámicas de disociación regidas por el pH. Para esta investigación los valores de Amonio presento una baja concentración que no superaban los 0,12 mg/L, estos valores se mantuvieron por debajo de los valores de pH 6,5, de esta

manera la relación es de (pH 6 - 3000:1), haciendo que haya poca concentración de amonio tóxico que pueda conducir procesos de eutrofia (Tabla 8).

Tabla 8. Relación Valores de pH - Disociación del Nitrógeno – Tomada de Wetzel y Likens (1991)

pH	Proporción NH ₄ ⁺ y H ₄ OH
6	3000:1
7	300:1
8	30:1
9,5	1:1

7.3.6 Eutrofia de la Laguna de San Rafael

Los valores obtenidos de clorofila α , las distancias del disco de Secchi y el índice de estado trófico de los tres puntos dentro de la laguna arrojan como resultado que el cuerpo de agua presenta características y se comporta en los meses de muestreo como un lago oligotrófico (Tabla 9), según la clasificación Carlson (1977), modificado por Aizaki *et al.* (1981), estas mismas variables son descritas por: (Wetzel y Likens, 1991; Pérez *et al.*, 2002; Modenutti *et al.*, 2003; Alvial *et al.*, 2008; Roldan y Ramírez, 2008b; Schmidt-Mumm y Vargas Ríos, 2012), para sistemas continentales en los Andes.

Si comparamos estudios realizados por Donato (2001b) en la laguna de San Rafael, no presentan grandes cambios en los resultados de estas variables y muestran que el sistema no presenta consecuencias de factores antrópicos significantes que cambien las condiciones ecológicas como hidrobiológicas que puedan alterar el sistema lagunar. Contrasta los resultados de la laguna de Chingaza de origen glaciar, que empieza a mostrar cambios en sus variables fisicoquímicas, de productividad a causa de factores antrópicos, cambiando su estado de oligotrofia (Donato *et al.*, 1996).

Tabla 9. Valores promedios, estimados para la Clorofila α mg/m^3 e Índice de Estado Trófico

Mes	Penetración Lumínica	Punto 3		Punto 4		Punto 5		Promedio		Profundidad medición y toma de muestras
		Clorofila α (mg/m^3)	IET	Clorofila α (mg/m^3)	IET	Clorofila α (mg/m^3)	IET	Clorofila α (mg/m^3)	IET	
1	90%	1,6038	25	2,1384	25	1,6038	25	1,782	25	Punto 1
	50%	0,5346	23	1,6038	25	1,0692	24	1,0692	24	90% - 0,32m
	40%	1,6038	25	0,5346	23	1,6038	25	1,2474	24	50% - 2,27m
2	90%	2,673	25	2,1384	25	2,1384	25	2,3166	25	40% - 3,0m
	50%	1,0692	24	3,2076	25	1,0692	24	1,782	24	Punto 2
	40%	1,0692	24	3,2076	25	2,673	25	2,3166	24	90% - 0,41m
3	90%	1,0692	24	1,6038	25	1,6038	25	1,4256	24	50% - 2,73m
	50%	2,1384	25	1,0692	24	1,6038	25	1,6038	24	40% - 3,62m
	40%	1,0692	24	2,1384	25	1,0692	24	1,4256	24	Punto 3
4	90%	0,5346	23	1,6038	25	1,6038	25	1,2474	24	90% - 0,32m
	50%	1,0692	24	1,6038	25	0,5346	23	1,0692	24	50% - 2,27m
	40%	0,5346	23	1,0692	24	1,6038	25	1,0692	24	40% - 3,0m
Promedio Clorofila α 1,5295 mg/m^3										
Promedio Clorofila α				90%						1,6929 mg/m^3
Profundidades				50%						1,3810 mg/m^3
				40%						1,5147 mg/m^3

7.3.7 Aforo de Caudal

El volumen de agua que recibe la laguna de San Rafael por parte de la quebrada Chorrillos y el volumen de agua que desemboca en el río Bedón se observan en la (Tabla 10). Los valores indican el flujo de agua durante los meses, presentan diferencias entre sus canales y con más detalle se observa su comportamiento durante los periodos de muestreo. Aumentan los niveles de caudal conforme aumentan las precipitaciones y a su vez el perímetro y área (Anexo 15 Anexo 16)

La quebrada Chorrillos presenta cambios durante los periodos de muestreo, en los meses marzo y abril tiene la misma longitud pero difieren en el caudal, estos dos meses corresponden a los periodos de baja precipitación.

En los periodos de precipitación alta se midieron los caudales a una distancia de 15 m de distancia del punto en la temporada de baja precipitación debido a que el caudal presentaba mucha fuerza y por condiciones de seguridad se midió en un lugar con menor longitud.

Tabla 10. Aforo de caudal quebrada Chorrillos y río Bedón

Mes	Nombre de la Cuenca	Área m ²	Perímetro m	Caudal m ³ /s	Caudal L ^{-s}
1	Q. Chorrillos	0,46	5,44	0,096	96,11
	Río Bedón	0,54	7,24	0,118	117,51
2	Q. Chorrillos	0,23	6,67	0,052	52,35
	Río Bedón	0,21	5,73	0,052	52,35
3	Q. Chorrillos	0,23	6,69	0,027	26,56
	Río Bedón	0,19	5,36	0,03	29,62
4	Q. Chorrillos	0,83	6,18	0,646	647,38
	Río Bedón	0,97	8,18	0,806	806,19

7.4 Factor Morfológico

Aunque la laguna presenta valores en sus nutrientes muy bajos en su columna de agua, es de gran importancia estudios realizados por Gunkel (2003), donde muestra factores como el intenso desarrollo de macrófitas que pueden influir en la cantidad y velocidad de sedimentación en este tipo de sistemas ubicados en la región andina. Según Gunkel (2003), el estudio de los sedimentos tendría gran relevancia ya estos actúan como depósito y fuente de nutrientes, por lo tanto sus características físicas y químicas deben ser consideradas dentro de la evaluación del sistema. Estas características, determinadas a lo largo de un perfil vertical, sirven para definir la historia del desarrollo de un sistema lenticó y poder identificar cambios que puedan estar acelerando el proceso de la sedimentación.

La laguna de San Rafael de origen glaciar presenta una disminución en medio siglo aproximadamente de ocho ha en su espejo de agua. Las investigaciones sobre la evaluación de la calidad del agua indican que presenta un buen estado y no presenta alteraciones antrópicas significativas que aceleren procesos de sedimentación que conlleven a la disminución del área en el espejo de agua, eso se corrobora con los estudios realizado por Donato (2001b).

Las fotografías aéreas muestran la geomorfología del espejo de agua de la laguna de San Rafael, se observa el cambio debido a los procesos de sedimentación que ganan terreno al cuerpo de agua, estos cambios pueden ser causados por procesos naturales o a causa de factores antrópicos.

En el año de 1965 presentaba un área de 23,877 ha, en el año de 1979 el área fue de 20,834 ha, en el año de 1987 tenía 20,622 ha y en el año de 1991 presento 17,221 ha (Figura 15). El sistema lagunar tubo una disminución de su espejo de agua entre los años 1965 – 1979 de 3,043 ha en 14 años, 1979 – 1987 de 0,212 ha, 1987 – 1991 de 3,613 ha en 4 años. Finalmente el área de una imagen de 2010 en formato Landsat para la laguna de san Rafael arroja como resultado que le espejo de agua presenta una área de 15,726 ha.

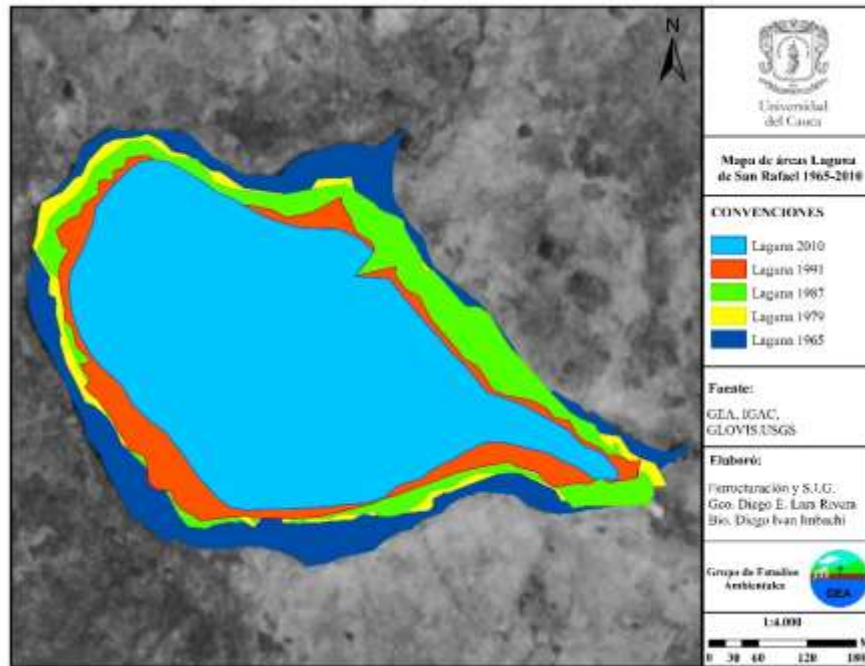


Figura 15. Aéreas Laguna San Rafael

7.5 Indicadores Socioculturales que afectan la laguna de San Rafael

Los indicadores en el área de estudio, se identificaron con conversatorios, talleres realizados en Cabildo de Puracé y bibliografía secundaria para la zona de estudio (Troyano, 1999; Donato, 2001b; Muñoz, 2007a; Apolinar *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2009; Mosquera, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Vejarano, 2012; Vidal, 2012; Plaza, 2014). Entre las actividades e indicadores, fueron relacionados en la matriz de influencias dependencias (Tabla 11), posteriormente se analizaron el plano de influencias dependencias (Figura 16)

La matriz de influencias dependencias se clasificó en:

- **Indicadores de tercer nivel:** Componente Abiótico, Componente Biótico y Componente Humano.
- **Indicadores de segundo nivel:** Clima, Agua, Suelo y Morfología (Abiótico). Flora y Fauna (Biótico). Antrópico (Humano).
- **Indicadores de primer nivel:** Intensidad Lumínica, T °C Atmosférica, Viento y Precipitación (Clima). Solidos disueltos totales, Oxígeno Disuelto, Conductividad,

Productividad Primaria, Turbiedad, Caudal (Agua). Propiedades Químicas (Suelo). Profundidad Laguna, Área Laguna (Morfología). Diversidad de Macrófitas, Cobertura Vegetal (Flora). Diversidad de Aves, Especie Introducida *Oncorhynchus mykiss* (Fauna) (Baptiste *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2012). Entresaca Selectiva, Ganadería, Quemas, Turismo Desarticulado (Antrópico).

7.5.1 Matriz de Influencias Dependencias

En su plan de manejo, el parque nacional natural Puracé (P.N.N.P. *et al.*, 2004), describe una serie de situaciones problema que afectan al parque en su totalidad, pero en relación con la laguna de San Rafael se destacan similitudes, en el estudio de las variables analizadas, entre ellas el conflicto de usos del territorio: tala (Entresaca Selectiva), ganadería de doble propósito, quema y turismo desarticulado (ecoturismo) (Anexo 17).

Estas variables se encuentran ubicadas en el plano, se observa que la ganadería, quemas y entresaca selectiva, son el objeto de factores que influyen en el sistema lagunar y que no presentan un plan de manejo de mitigación de sus impactos. Por otra parte el turismo desarticulado (ecoturismo), no está establecido como plan a desarrollar, donde se evidencie la participación bidireccional de las entidades y comunidades del sector para su protección, como producto de esto el ingreso de los turistas se da de una manera desordenada, causando impactos sobre el ecosistema.

Teniendo en cuenta las actividades, se podrían clasificar en niveles de prioridad con el objetivo de poder dar solución, el turismo desarticulado, ganadería, quema y tala (entresaca selectiva) requieren una mayor atención, por los impactos que está generando sobre la laguna de San Rafael (Joaqui *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Plaza, 2014), aunque estas actividades no presentan un incremento acelerado o exponencial significativo es importante darles un buen manejo.

Los indicadores de primer nivel, según el análisis en la matriz de influencias dependencias se distribuyeron en los cuadrantes I, II, III y IV:

Cuadrante I Zona de Poder

Las variables encontradas en este lugar se consideran de GRAN MOTRICIDAD, ejercen mucha influencia y tienen poca dependencia: Precipitación, Intensidad Lumínica, T °C Atmosférica, Quemadas, Caudal, Viento y Turismo Desarticulado. Las cuales afectan, aceleran cambios en la estructura del ecosistema y pueden influir en muchas variables, por esto es recomendado iniciar e implementar, manejo al turismo desarticulado, seguimiento de las actividades de quema y monitorear las precipitaciones, caudal, T °C atmosférica, intensidad lumínica y el viento.

Cuadrante II Zona de Conflicto

Las variantes de este cuadrante poseen mucha influencia sobre el ecosistema, aunque son dependientes de las variables presentes en el cuadrante I se consideran muy IMPORTANTES o VARIABLES CLAVE. Las variables presentes en este cuadrante fueron: Ganadería y Especie Introducida. Estas pueden incidir significativamente sobre otras, haciendo más susceptible y vulnerable el ecosistema.

Cuadrante III Zona de Salida

Estas variables están influenciadas por indicadores del cuadrante I y II, se caracterizan por ser de difícil manejo, presentan poca influencia y muchas dependencias, consideradas como VARIABLES de RESULTADO: Diversidad de Macrófitas, Turbiedad, Propiedades Químicas, Cobertura Vegetal, Productividad Primaria Bruta, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Diversidad de Aves y Sólidos Disueltos Totales.

Cuadrante IV Zona de Autonomía

Las variables de este cuadrante muestran poca influencia y poca dependencia, por esto son más resistentes al cambio, no afectan ni se ven afectadas, se consideran variables autónomas, Área de la Laguna, Profundidad de la Laguna, Entresaca Selectiva.

Tabla 11. Matriz de Influencias - Dependencias

MATRIZ DEL ECOSISTEMA			COMPONENTE ABIOTICO											COMPONENTE BIOTICO				COMPONENTE HUMANO				Σ DEPENDENCIA			
			CLIMA				AGUA					SUELO	MORFOLOGIA	FLORA		FAUNA		ANTROPICO							
		NUMERO DE ORDEN	Intensidad Lumínica	T °C Atmosférica	Viento	Precipitación	Sólidos Disueltos Totales	Oxígeno Disuelto	Conductividad	Productividad Primaria	Turbiedad	Caudal	Propiedades Químicas	Profundidad Laguna	Área Laguna	Diversidad de Macrófitas	Cobertura Vegetal	Diversidad de Aves	Especie Introducida	Entresaca Selectiva	Ganadería	Quemas	Turismo Desarticulado		
		NUMERO DE ORDEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
COMPONENTE ABIOTICO	CLIMA	Intensidad Lumínica	1		X	X																		2	
		T °C Atmosférica	2	x		X	X										X	X							5
		Viento	3	X	x		X																		3
		Precipitación	4	X	X	X																			3
	AGUA	Sólidos Disueltos Totales	5	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X		14
		Oxígeno Disuelto	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X		X			X	13
		Conductividad	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X							X			X	11
		Productividad Primaria	8	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X							X	X	X		13
		Turbiedad	9			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X		X	X	X		13
		Caudal	10		X		X						X						X			X	X		3
	SUELO	Propiedades Químicas	11	X			X		X	x	X	X	X			X			X	X	X	X	X		13
	MORFOLOGIA	Profundidad Laguna	12				X	X					X		X						X				5
		Área Laguna	13									X		X	X	X	X		X		X				6
COMPONENTE BIOTICO	FLORA	Diversidad de Macrófitas	14	x	X		X	X		X		X	X	X	X	X		X						10	
		Cobertura Vegetal	15	X									X				X	X	X	X	X	X	X		8
	FAUNA	Diversidad de Aves	16	X	X	X	X								X	X	X	X	X	X	X	X	X		12
		Especie Introducida	17		X		X	x	x		x	X	x	x	X	x		X						X	13
COMPONENTE HUMANO	ANTROPICO	Entresaca Selectiva	18													X				X				2	
		Ganadería	19	X	X							x			X		X			x	X	X	X		8
		Quemas	20																		x	X			1
		Turismo Desarticulado	21	x	X										x			x	x			X			6
Σ INFLUENCIAS				13	12	9	14	7	6	4	6	7	9	7	6	6	8	5	3	9	4	11	9	9	144

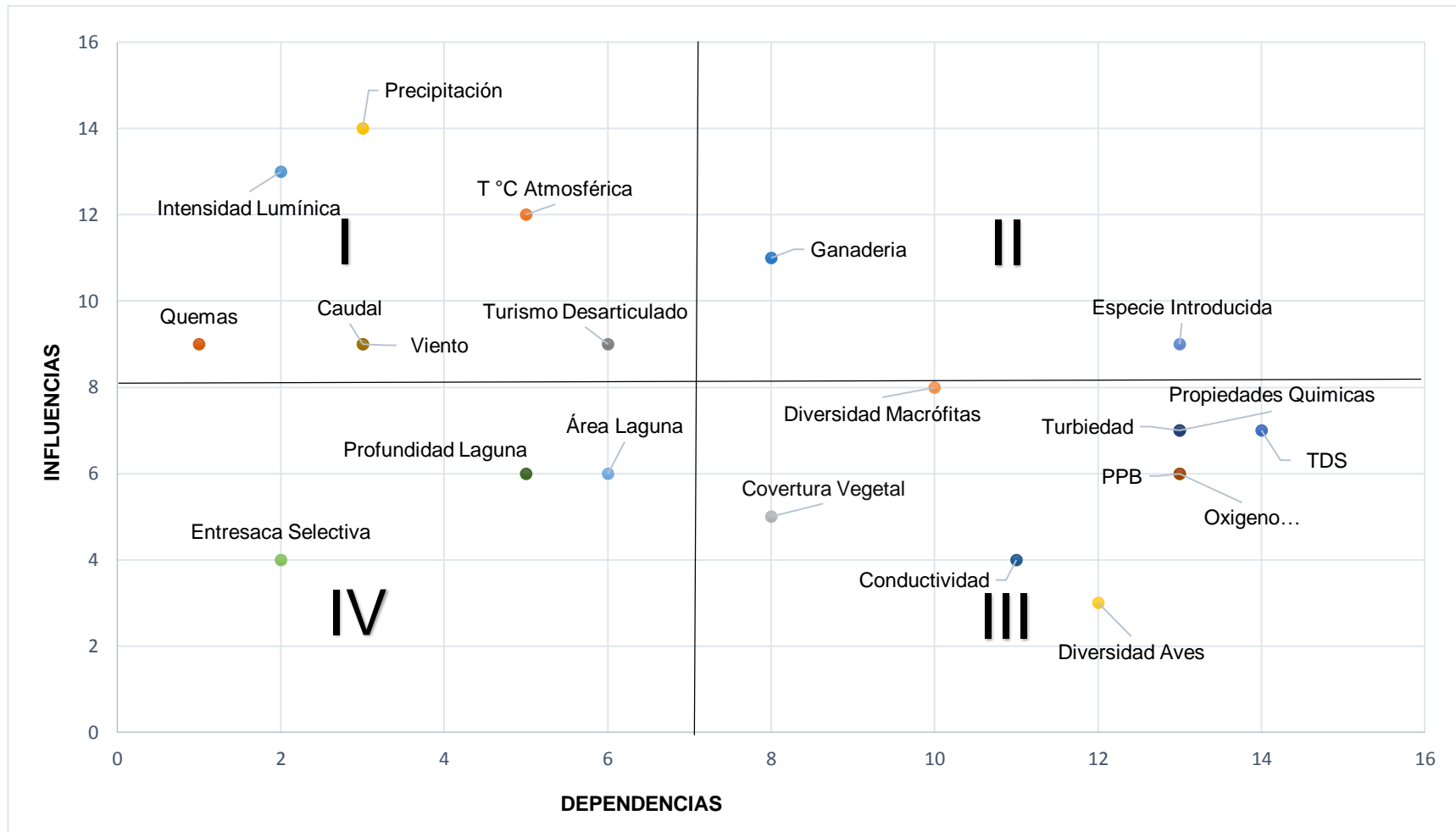


Figura 16. Plano Influencias vs Dependencias – I Zona de Poder, II Zona de Conflicto, III Zona de Salida y IV Zona de Autonomía

Grado de Dependencia Factores de Primer Nivel

Los indicadores más representativos del análisis de la matriz de dependencias influencias, que poseen una mayor dependencia en la laguna de San Rafael son:

Sólidos Disueltos Totales, Oxígeno Disuelto, Conductividad, PPB, Caudal, Propiedades Químicas, Cobertura Vegetal, Diversidad de Aves, y Especie Introducida. Estos factores son importantes en la dinámica ecosistémica, directamente en el cuerpo del agua, la transición laguna a humedal, a bosque de páramo y bosque andino.

Los factores anteriormente analizados y evaluados son concluyentes, el cuerpo del agua conserva características de oligotrofia desde los estudios de Donato (2001b), sus bajos niveles de nutrientes, constantes niveles de oxígeno disuelto y PPB son buenos indicadores (Figura 17). Las propiedades químicas del suelo, coberturas vegetales y macrófitas representantes de ecosistemas de páramo, soportan la biodiversidad de aves, endémicas, migratorias y selectivas (Troyano, 1999; Muñoz, 2007a; Mosquera, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Vidal, 2012; Plaza, 2014).

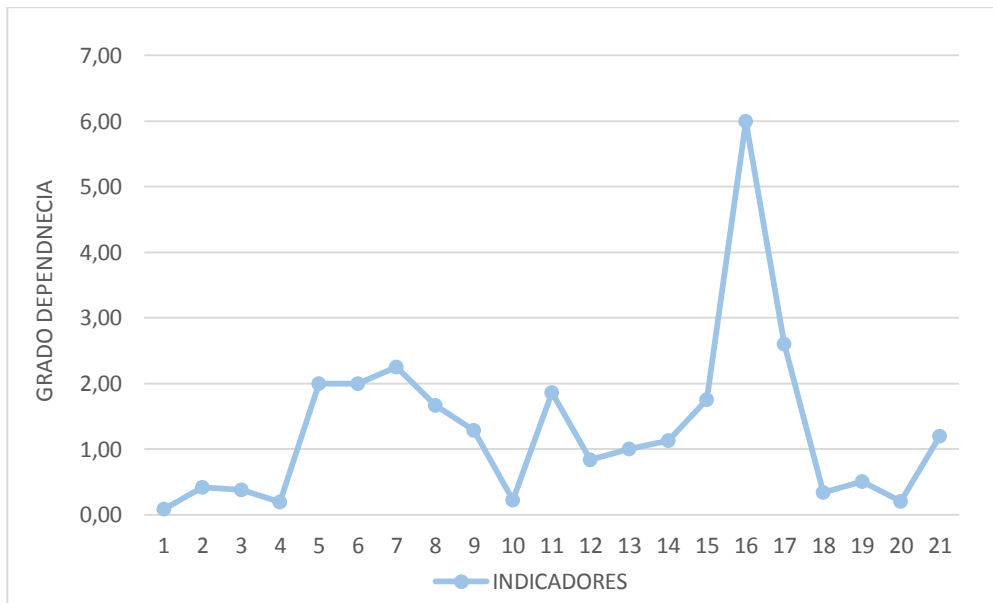


Figura 17 Grado de Dependencia Indicadores de Primer Nivel

7.6 Determinación de la Integridad Ecológica en la laguna de San Rafael

7.6.1 Valores objeto de conservación

En los Páramos andinos se observa toda una gama de condiciones ambientales, físicas y geográficas, esto permite un desarrollo y estratificación natural de las coberturas vegetales, estas brindan servicios ecosistémicos como: Regulación atmosférica, mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos, amortiguación de perturbaciones naturales, regulación hídrica de la escorrentía mediante las cuencas de drenaje, disponibilidad hídrica y sujeción del suelo como el control del balance sedimentario (Apolinar *et al.*, 2009; Baptiste, 2011; Romero, 2012).

Los elementos de conservación identificados para la evaluación de la integridad ecológica fueron seleccionados teniendo en cuenta que estos albergan, son parte de la biodiversidad del área y presentan características ecológicas representativas de la laguna de San Rafael y los páramos andinos (Tabla 12).

Los recursos de información primaria se generaron con los resultados de la esta investigación y los secundarios fueron obtenidos gracias a los resultados de trabajos de: (Troyano, 1999; Donato, 2001b; P.N.N.P. *et al.*, 2004; Muñoz, 2007a; Martínez *et al.*, 2009; Mosquera, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Vejarano, 2012; Vidal, 2012; Plaza, 2014), realizados en la laguna de San Rafael.

Tabla 12 Valores Objeto de Conservación - Integridad Ecológica

Objetivos de Conservación	Atributos de conservación
Hidrología	Incluye caudal, condición de estado trófico, variables fisicoquímicas y nutrientes del cuerpo de agua
Morfología	Área del espejo de agua Profundidad
Flora	Diversidad de macrófitas Cobertura vegetal
Fauna	Diversidad de aves

Hidrología: Las dinámicas hidrológicas en la laguna de San Rafael determinan que el cuerpo de agua conserva características de un sistema en óptimas condiciones, las evaluaciones de la profundidad y penetración lumínica, productividad primaria bruta, clorofila α , fisicoquímica y estado trófico presentaron resultados similares a los reportados por (Donato, 2001b; Roldan y Ramírez, 2008a) para la laguna de San Rafael.

Morfología: Los análisis sobre el cambio en área del espejo de agua para los años 1965, 1979, 1987, 1991 y 2013 muestra que el cuerpo de agua presenta modificaciones en el área para sus diferentes periodos, el cambio es inversamente proporcional, a medida que pasan los años disminuye el área, estos resultados se asemejan a los reportados por (Muñoz, 2007a; Muñoz *et al.*, 2009; Vejarano, 2012).

Aunque esta dinámica puede estar sesgada al momento de la captura la fotografía aérea, puede haber sido tomada en la temporalidad de ausencia de precipitación, este factor climático es determinante en el área. Para esta investigación se observó una disminución del área de la laguna en los meses Marzo y Abril ausencia de precipitación y un aumento del área en los meses Febrero y Agosto. El aporte de volumen de agua en los meses de precipitación, por escorrentía y entrada del caudal L^{-s} por la quebrada Chorrillos.

Flora y Fauna Asociada a la laguna San Rafael: Estudios realizados por (Troyano, 1999; Joaqui, 2005; Muñoz, 2007a; Joaqui *et al.*, 2009; Martinez *et al.*, 2009; Mosquera, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Vidal, 2012; Plaza, 2014), muestran las diferentes asociaciones y coberturas vegetales y estado de sucesión, a través del espacio y tiempo, mostrando las condiciones de conectividad, fragmentación, sobre los parches en las diferentes coberturas, arbóreo, arbustales, macrófitas, humedal pajonal-frailejónal alrededor de la laguna de San Rafael.

La identificación y determinación de las variedades vegetales predominantes en los tipos de coberturas en la zona de estudio, representa una gran importancia para los estudios de avifauna asociados a ecosistemas de paramo. Estos organismos son vulnerables y susceptibles a procesos de fragmentación, la ausencia de especies endémicas como migratorias reflejan las condiciones de este componente, algunas de las especies son selectivas de acuerdo a los recursos y características

paisajísticas descritas para cada especie en su etología (Ayerbe *et al.*, 2008; Vidal, 2012; Plaza, 2014).

7.6.2 Integridad Ecológica de la Laguna San Rafael

Los resultados de los elementos de conservación en la laguna de San Rafael indican que la laguna presenta características aceptables en su Integridad Ecológica, aunque requiere intervención del hombre para su mantenimiento (Tabla 13).

La zona de estudio al estar ubicada dentro de los límites del PNN Puracé no presenta alteraciones generadas por factores antrópicos directamente relacionados en este tipo de ecosistemas como lo son la agricultura y la minería, pero presenta transformaciones a causa de la ganadería de producción lechera y carne, turismo desarticulado que ponen en peligro la estabilidad y la integridad ecológica.

Es conocido que por la gran altitud, el páramo es un ecosistema frágil que tiene niveles bajos de productividad primaria, descomposición y una sucesión vegetal natural lenta (Donato, 2001b; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a; Vásquez y Buitrago, 2011). Por tanto la recuperación del ecosistema tras un disturbio o una actividad antrópica es muy baja (Janzen, 1973; Williamson *et al.*, 1986; Müller *et al.*, 2000; Buytaert *et al.*, 2006; MAVDT. y I.A.v.H., 2010a).

Los regímenes de estrés que ocurren en estos sistemas, pueden ser un factor de selección y a la vez una fuerza que pueda mejorar la resistencia y la evolución adaptativa, pero si los límites de tolerancia al estrés se exceden y se sobrepasa la capacidad adaptativa, puede ocasionar un daño permanente a largo tiempo e irreparable en este sistema (MAVDT. y I.A.v.H., 2010a; Baptiste, 2011; Farina, 2011).

Los criterios empleados para el análisis de los valores objeto en la evaluación de la Integridad ecológica mostraron que la laguna de San Rafael conserva buenas características ambientales y de equilibrio hidrológico. Los valores de coberturas vegetales en el espacio-tiempo y de composición en avifauna indican que el ecosistema de páramo en San Rafael, presenta gran oferta en servicios ecosistémicos (Ayerbe *et al.*, 2008; Vidal, 2012; Plaza, 2014).

Las buenas condiciones e interrelaciones entre los factores hidrológicos, morfológicos y socioculturales en la laguna de San Rafael demuestran que el sistema presenta grandes niveles de auto-organización. Los resultados de (Troyano, 1999; Donato, 2001b; P.N.N.P. *et al.*, 2004; Muñoz, 2007a; Martínez *et al.*, 2009; Mosquera, 2009; Muñoz *et al.*, 2009; Vejarano, 2012; Vidal, 2012; Plaza, 2014), en los componentes de coberturas vegetales y composición de aves indican buenos niveles de conservación.

Tabla 13 Evaluación de variabilidad de los objetos de conservación en la laguna de San Rafael – Integridad Ecológica

Elemento de Conservación	Categoría	Atributo clave	Indicador	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno	Fuente	Clasificación Indicador	Clasificación elemento	Clasificación Área	
1	Agua	Tamaño	Caudal Quebrada Chorrillos	L ^s	>26,56	26 - 52	52 - 96	<647		3,5	3,5	
1	Agua	Tamaño	Caudal Rio Bedón	L ^s	>29,62	29 - 52	52 - 117	<806	(Donato, 2001b; Muñoz, 2007a; Roldan y Ramírez, 2008b; Muñoz <i>et al.</i> , 2009; Vejarano, 2012; Plaza, 2014)	3,5		
1	Agua	Condición	Laguna de San Rafael	Índice de estado trófico	100	90 - 70	60 - 30	0 - 30		4		3,8
1	Agua	Cantidad y Calidad del Agua	Laguna de San Rafael	Oxígeno mg/L	>5	5 - 6	7 – 7,4	<7,5		4		
1	Agua	Cantidad y Calidad del Agua	Laguna de San Rafael	Nutrientes mg/L			1,8 - 2	0 – 1,8		4		
2	Morfología	Área	Laguna de San Rafael	Área ha espejo de agua ha	>16,726			<23,877	(Donato, 2001; Muñoz, 2007; Roldan y Ramírez, 2008; Joaqui <i>et al.</i> , 2009; Martínez <i>et al.</i> , 2009; Mosquera, 2009; Muñoz <i>et al.</i> , 2009)	3,5	3,5	
2	Morfología	Profundidad	Laguna de San Rafael	Profundidad Laguna de San Rafael	>3.5		<4,5	<5		3,5		

Elemento de Conservación	Categoría	Atributo clave	Indicador	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno	Fuente	Clasificación Indicador	Clasificación elemento	Clasificación Área	
3	Fauna	Composición	Zonas elevadas de las cordilleras Central y centro-Oriental	CCO			200	(Ayerbe <i>et al.</i> , 2008)	3,5		3,5	
3	Fauna	Composición	Sector San Rafael	Número de Especies		70		(Vidal, 2012)	3,5	3,5		
3	Fauna	Composición	Sistema lagunar de San Rafael	Número de Especies		30		(Plaza, 2014)	3,5			
4	Flora	Contexto paisajístico	Cobertura	Frailejones Pajonal	>30 ha	30 - 38 ha	38 – 48 ha	48 – 76 ha	(Muñoz, 2007; Joaqui <i>et al.</i> , 2009; Martínez <i>et al.</i> , 2009;	3,5		
4	Flora	Contexto paisajístico	Cobertura	Pasto Cyperaceae	<17,49 ha	17 – 12 ha	12 - 0,9 ha	>0,11 ha	Mosquera, 2009; Muñoz <i>et al.</i> , 2009;	3,5		
4	Flora	Contexto paisajístico	Cobertura	Chuscal	>40 ha	49 – 68 ha	68 – 101 ha	<101 ha	Vejarano, 2012)	3,5		3,5

8 CONCLUSIONES

Se evidencia que en la laguna de San Rafael no hay una articulación y comunicación bidireccional por parte de las entidades ambientales, gubernamentales y cabildo indígena. Pese a que la laguna se encuentra en el área de protección, cobijada por la figura de parques nacionales naturales (PNN), actividades antrópicas como: ganadería, turismo desarticulado, quemas y entresaca selectiva, se realizan todavía en este sistema lagunar de páramo, aunque no con una periodicidad que pueda estar generando cambios significativos en la integridad ecológica.

El análisis de los elementos de conservación en la matriz de Integridad Ecológica, para la zona de protección de laguna de San Rafael, concluye que estos valores se encuentran en un estado deseable, pero se requiere mejorar los esquemas de manejo para evitar que algunos valores objetos se encuentren en riesgo. Además es importante enfocarse en otros factores como climáticos que no se han evaluado en la actualidad con el objetivo de brindar un mejor entendimiento de las dinámicas de este sistema lagunar.

Las actividades antrópicas como la agricultura, ganadería y minería de socavón e introducción de especie ictica exótica, identificadas en el factor sociocultural, afectan directamente al páramo de San Rafael y la laguna de Andulbio. Aunque entre la temporalidad 1950 – 2009, el uso de las coberturas vegetales maderables, para procesos de minería, no generaron grandes cambios en las coberturas vegetales alrededor de la laguna de Andulbio.

Las condiciones hidrológicas de la laguna de San Rafael no presentan alteraciones, estas condiciones están relacionadas conforme cambian los ciclos naturales del cuerpo de agua. De esta manera el factor hidrológico presenta características de oligotrofia, relacionado los bajos niveles de nutrientes y altos niveles de oxígeno disuelto, propios de ecosistemas alto andinos conservados. Demostrando que no hay factores antrópicos directos que puedan causar procesos de eutrofia.

Debido a la poca distancia en la laguna de San Rafael desde la superficie hasta su profundidad, la penetración de la energía solar sobre la columna de agua es alta, produciendo que no haya una estratificación térmica que altere los ciclos hidrológicos como la productividad primaria, concentración de nutrientes y variables fisicoquímicas.

En la actualidad se desconoce los cambios en los ciclos hidrológicos y ecológicos que pueda estar causando la introducción de *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arcoíris)

Pese a la poca intervención antrópica en la laguna, esta refleja un buen estado de conservación del área de estudio y puede servir como ejemplo de las buenas estrategias, prácticas de conservación, resaltando la importancia de mantener este sistema generador de servicios ambientales y ecosistémicos.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades del estado fortalecer los procesos que se desarrollen en el Parque Nacional Natural Puracé con el objetivo de seguir preservando las condiciones de la laguna de San Rafael.

Es importante actualizar los resultados sobre las coberturas vegetales que rodean la laguna de san Rafael por medio de estudios relacionados con la abundancia de variedades vegetales que se encuentran en la parte de transición laguna a humedal.

Se recomienda la realización de un trabajo con el objetivo de determinar si la velocidad de reducción del espejo de agua como los procesos de sedimentación de la laguna, se da en condiciones naturales o su velocidad dependiente de factores antrópicos.

Es importante generar metodologías que incluyan el factor sociocultural dentro de los análisis estadísticos de manera cuantitativa, para no generar vacíos o dudas que surjan al momento de demostrar ciertas condiciones de los sistemas lagunares.

10 BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, R., Néstor, J, 2013. Métodos de campo y de laboratorio para estudios de la calidad de agua dulce y estudio de algas fitoplanctónicas, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería 17 pp.

Aizaki, M.O., M. Otsuki, M. Fukushima, Hosomi y Muraoka., 1981. Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 21, 675-681.

Alvial, I., E, F. Cruces, J, A. Araneda, E y R. Urrutia, E, 2008. Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista chilena de historia natural* 81, 83-94.

Andrade, A., S. Arguedas y R. Vides, 2011. Guía para la aplicación y monitoreo del Enfoque Ecosistémico, CEM-UICN, CI-Colombia, ELAP-UCI, FCBC, UNESCO-Programa MAB, 42 pp.

Andreasen, J.K., R.V. O'Neill, R. Noss y N.C. Slosser, 2001. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators* 1, 21-35.

Apolinar, F., Casas, P. Mónica, Valencia, Rojas, N. Alvear, NI, I. Martínez, Jp, S. Ceballos, V, A. Mosquera, L.C. Concha, G.F. Muñoz, R. Gallego, Mc, M. Muñoz, Ff, D. Joaquín, Sc, D. Ordoñez, Mc, P.E. Humberto, W. Tandioy, C. Plazas, Ja, V. Vergara, H y P. Ramírez, B, 2009. Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos, departamento del Cauca, 400 pp.

Aracena, C., C.B. Lange, J. Luis Iriarte, L. Rebolledo y S. Pantoja, 2011. Latitudinal patterns of export production recorded in surface sediments of the Chilean Patagonian fjords (41–55°S) as a response to water column productivity. *Continental Shelf Research* 31, 340-355.

Armero, S., Milena 2009. Plan de Manejo del Páramo de Chiles enfoque y Avances en la Formulación del Plan Participativo de Manejo y Conservación del Páramo de Chiles. I.A.v.H. , 12 pp.

Ayerbe, Q., Fernando, O. López, Juan Pablo, R. González, María Fernanda, F.A. Estela, B. Ramírez, Mónica Beatriz, S. Sandoval, José Vladimir y B. Gómez, Luis Germán, 2008. Aves del departamento del Cauca-Colombia. *Biota Colombiana* 9, 77-132.

Baptiste, B.L.G., 2011. Ecología del Paisaje en los Páramos. Colombia tiene PÁRAMOS 1, 32-39.

Baptiste, M., P., N. Castaño, D. Cárdenas, F. Gutiérrez, P., D. Gil, L. y C. Lasso, A., 2010. 2010. Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies

introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 200., pp.

Barbour, M., W. Swietlik, S. Jackson, D. Courtemanch, S. Davies y C. Yoder, 2000. Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity. *Hydrobiologia* 422-423, 453-464.

Berkes, F., C. Folke y J. Colding, 2000. Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press, pp.

Borja, A., A. Ranasinghe y S.B. Weisberg, 2009. Assessing ecological integrity in marine waters, using multiple indices and ecosystem components: challenges for the future. *Marine Pollution Bulletin* 59, 1-4.

Brandon, K., K.H. Redford y S.E. Sanderson, 1998. Parks in peril: people, politics, and protected areas. Island Press, pp.

Buytaert, W., R. Céleri, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers y R. Hofstede, 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79, 53-72.

Carlson, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22, 361-369.
Cole, G., 1983. *Textbook of Limnology* 3 edition louis: mosby company, 412 pp.

De Leo, G.A. y S. Levin, 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* 1, 3-3.

Diaz, R.J., M. Solan y R.M. Valente, 2004. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management* 73, 165-181.

Donato, R., John, Charles., 2001a. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de sudamerica (Colombia). Composición y factores de distribución. Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras. No 19, 232.

Donato, R.J.C., G.L.E. Gonzalez y M.C.L. Rodriguez, 1996. Ecología De Dos Sistemas Acuáticos De Paramo. Academia Colombiana De Ciencias Exactas Físicas Y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No 9, Bogotá D.C, 164 pp.

Environment, W.C.O., 1987. El desarrollo sostenible, una guía sobre nuestro futuro común: El informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Oxford University Press, pp.

Esteves, F., 1988. Fundamentos de limnología 2 ed. Rio de Janeiro 575 pp.

- Farina, A., 2011. *Ecología Del Paisaje* Publicaciones de la Universidad de Alicante, 692 pp.
- Faust, X., Franz., 2004. *Un Viaje Por Paisajes Miticos De Colombia* Popayan p. 71.
- Figuroa, C., Apolinar., R. Contreras, Rafael. y D. Sánchez, Juan., 1998. Evaluación de impacto ambiental. Un instrumento para el desarrollo. Centro de Estudios Ambientales para el Desarrollo Regional (CEADES). CORPORACION UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE OCCIDENTE CALI - COLOMBIA 175 pp.
- Forman, R., T., 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions.* Harvard University, Massachusetts., 652.
- Fraser, R.H., I. Olthof y D. Pouliot, 2009. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks. *Remote Sensing of Environment* 113, 1397-1409.
- Gaarder, T. y H. Gran, 1927. Investigations of the Production of Plankton in the Oslo Fjord. *Rapp Proc Verb, cons Internat explor Mer* 42, 1-48.
- García, H., Lilibeth., 2003. Teoría del desarrollo sostenible y legislación ambiental colombiana. Una reflexión cultural. *Revista de Derecho de la División de Ciencias Jurídicas de la Universidad del Norte* 20 18.
- Gunkel, G., 2003. Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical* 51, 381-390.
- Gunkel, G. y J. Casallas, 2002. Limnology of an equatorial high mountain lake — Lago San Pablo, Ecuador: The significance of deep diurnal mixing for lake productivity. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* 32, 33-43.
- Gutiérrez, F., C.a.L. De P., M. P., P. Baptiste, D. Sánchez y M. A, Díaz., 2012. VI. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia., 335p.
- Guzmán, D., Mamian., C. Zambrano, Vladimir. , R. Cerón, Carmen, Patricia. y G. López, Claudia, Leonor., 1996. *Geografía humana de Colombia: Región Andina Central* Bogota, D.C., 237 pp.
- Helbling, E., Walter., V. Villafañe, E. y E. Barbieri, S. , 2001. Sensitivity of winter phytoplankton communities from Andean lakes to artificial ultraviolet-B radiation. *Revista chilena de historia natural* 74, 273-282.
- Janzen, D.H., 1973. Rate of Regeneration after a Tropical High Elevation Fire. *Biotropica* 5, 117-122.

Joaqui, D., Samir, Carlos., C. Figueroa, Apolinar. y P. Ramirez, B., 2009. Análisis multitemporal de coberturas vegetales para ecotonos paramunos. Parque nacional natural Puracé. Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos departamento del Cauca 129-135.

Joaqui, D.S., 2005. Análisis Multitemporal de las Coberturas Vegetales para Ecotopos Paramunos en el Parque Nacional Natural Purace Utilizando Sistemas de Información Geográfica. tesis de pregrado Universidad Del Cauca

Jørgensen, S.E., 2002. Integration of ecosystem theories: a pattern. Springer, pp.

Karr, J., R y D. Dudley, R, 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management* 5, 55-68.

Karr, J.R., 1991. Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management. *Ecological Applications* 1, 66-84.

Kashian, D.R. y T.M. Burton, 2000. A Comparison of Macroinvertebrates of Two Great Lakes Coastal Wetlands: Testing Potential Metrics for an Index of Ecological Integrity. *Journal of Great Lakes Research* 26, 460-481.

Kay, J., J., 1993. On the nature of ecological integrity: some closing comments. *Ecological integrity and management of ecosystems.* , 201-212.

Kay, J., J. y H. Regier, 2000. Uncertainty, complexity, and ecological integrity: insights from an ecosystem approach. *Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health*, 121-156.

Keating, P., Louis., 1995. Disturbance regime and regeneration dynamics of upper montane forests and páramos in the Southern Ecuadorian Andes. Boulder, University of Colorado. M.Sc.

Kiersch, B., R. Mühleck y G. Gunkel, 2004. Las macrófitas de algunos lagos altoandinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. *Revista de Biología Tropical* 52, 829-837.

Leopold, A., 1968. *A Sand County Almanac: With other Essays on Conservation* from Round River Oxford University Press Inc., Oxford, 240 pp.

Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophylls and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12, 343-346.

Lowie, R.H., 1946. *Historia de la Etnología México: Fondo de cultura Económica* 358 pp.

Manuel-Navarrete, D., J.J. Kay y D. Dolderman, 2004. Ecological integrity discourses: linking ecology with cultural transformation. *Human Ecology Review* 11, 215-229.

Margalef, R., 1983. *Limnologia*, Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1010 pp.

Martinez, I., Juan, Pablo., C. Figueroa, A. y P. Ramirez, B, 2009. Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos departamento del Cauca
Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos departamento del Cauca 137-155.

Mavdt. y lavh., 2010a. Definición De Criterios Para La Delimitación De Páramos Del País Y De Lineamientos Para Su Conservación. Parte I. Propuesta De Tipología Socioecologica De Los Páramos Del País Propuesta De Criterios Que Deben Guiar Los Procesos De Delimitacion Del Páramo Análisis De Limitaciones Y Oportunidades De Aplicación De Criterios De Delimitación De Paramos, Bogotá, D.C., 91 pp.

Mavdt. y lavh., 2010b. Definición De Criterios Para La Delimitación De Páramos Del País Y De Lineamientos Para Su Conservación. Parte II. Base De Datos Con Información sobre Estudios, Planes En La Gestión De Las Autoridades Ambientales Reginales En Materia De Protección De Páramos., 62 pp.

Mayorga, G., Jose, Eliecer., 1992. Relatos cortos de Puracé. Pilimbalá, Parque Nacional de Puracé 24 pp.

Medina, T., Mario, Fernando., 2008. Variacion Temporal de la Eficiencia Fotosintetica en la Laguna "Aguas Tibias" Por Medio de la Relacion Productividad Primaria/Biomasa Universidad del Cauca p. 91.

Michez, A., H. Piégay, F. Toromanoff, D. Brogna, S. Bonnet, P. Lejeune y H. Claessens, 2013. LiDAR derived ecological integrity indicators for riparian zones: Application to the Houille river in Southern Belgium/Northern France. *Ecological Indicators* 34, 627-640.

Modenutti, B., C. Queimaliños, E. Balseiro y M. Reissig, 2003. Impact of different zooplankton structures on the microbial food web of a South Andean oligotrophic lake. *Acta Oecologica* 24, Supplement 1, S289-S298.

Moizo, P., 2007. Patron Espacial De La Integridad Ecologica Del mosaico Paisajistico En El Departamento De Canelones - Uruguay. Tesis de Doctorado. Universidad de la Republica Montevideo Uruguay. , 1-218.

Montané, R., 2012. *Ecologia y Conservacion Ambiental*. Mexico Trillas, 424 pp.

Montoya, Y. y N. Aguirre, 2010. Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 55, 76-89.

Morales, M., J. Otero, T. Van Der Hammen, A. Torres, C. Cadena, C. Pedraza, N. Rodríguez, C. Franco, J.C. Betancourth, E. Olaya, E. Posada y L. Cárdenas, 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., 208 pp.

Mosquera, M., Angélica, Maria., 2009. Caracterización de dos zonas de transición, mediante el análisis de las coberturas vegetales y variables Microambientales en una zona de paramo, en el sector nororiental del parque nacional natural puracé. Tesis de Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de Biología

Müller, F., 2005. Indicating ecosystem and landscape organisation. *Ecological Indicators* 5, 280-294.

Müller, F., R. Hoffmann-Kroll y H. Wiggering, 2000. Indicating ecosystem integrity — theoretical concepts and environmental requirements. *Ecological Modelling* 130, 13-23.

Munguía, R.P., R.P. López y M.M. Nava, 2007. Integridad biótica de ambientes acuáticos. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, 71.

Muñoz, M., Fernando, Felipe., 2007a. Caracterización Biofísica, Análisis Espacio Temporal y De Intervenciones Antropicas, Para Humedales Altoandinos, Caso Tipo Laguna De San Rafael, (Zona Norte) Parque Nacional Natural Puracé Y Humedal De Calvache Universidad del Cauca p. 83.

Muñoz, M., Fernando, Felipe., 2007b. Caracterización Biofísica, Análisis Espacio Temporal y De Intervenciones Antropicas, Para Humedales Altoandinos, Caso Tipo Laguna De San Rafael, (Zona Norte) Parque Nacional Natural Puracé Y Humedal De Calvache

Muñoz, M., Fernando, Felipe., F. Apolinar, Casas. y V. Vergara, H., 2009. Análisis espacio temporal de humedales altoandinos: laguna de San Rafael y humedal de Calvache. *Fragmentación y coberturas vegetales de ecosistemas andinos departamento del Cauca* 157-188.

Naundorf, S., Gerardo, I. , 2010. La Productividad Primaria En Ecosistemas Acuáticos Continentales: Fundamentos Y Metodos Para Su Determinación 122 pp.

Noss, R.F., 1990. Can We Maintain Biological and Ecological Integrity? *Conservation Biology* 4, 241-243.

Noss, R.F., 2000. High-risk ecosystems as foci for considering biodiversity and ecological integrity in ecological risk assessments. *Environmental Science & Policy* 3, 321-332.

Ospina, R., Guillermo, Andres., 2004. El espacio como construcción sociocultural. Aproximación cognitiva sobre el uso del espacio en el Páramo de las Herosas,

cordillera Central de Colombia. Colombia, Cuadernos De Antropología Colombiana 1, 1-17.

Özkundakci, D., D.P. Hamilton, D. Kelly, M. Schallenberg, M. De Winton, P. Verburg y D. Trolle, 2014. Ecological integrity of deep lakes in New Zealand across anthropogenic pressure gradients. *Ecological Indicators* 37, Part A, 45-57.

P.N.N. y W.W.F., 2010. *Ánalisis de la Efectividad de Manejo de Áreas Protegidas con Participación Social* 34 pp.

P.N.N.C., 2005. Aspectos conceptuales de la planeación del manejo en Parques Nacionales Naturales. Colección Planeación del Manejo de los Parques Nacionales Naturales. Marco Pardo Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogotá, 87 pp.

P.N.N.P., V. Amaya, Maria, Teresa., C. Mosquera, Astrid, Liliana., P. Papamija, J. Gaitan, Carlos., J. Ordoñez, Jairo., M. Aztaiza y E. Mosquera, 2004. *Plan de Manejo Parque Nacional Natural Puracé Popayan*, 224 pp.

Pardo, P., Marco E. , M. Lopera, Margarita. y N. Flórez, 2007. *Manual de monitoreo del sistema de parques nacionales naturales de Colombia*, Bogotá, D.C., 69 pp.

Parrish, J.D., D.P. Braun y R.S. Unnasch, 2003. Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience* 53, 851-860.

Pérez, G.L., C.P. Queimaliños y B.E. Modenutti, 2002. Light climate and plankton in the deep chlorophyll maxima in North Patagonian Andean lakes. *Journal of Plankton Research* 24, 591-599.

Perez, H., Edier., 2008. Comportamiento, destino y variabilidad espacial de plaguicidas organofosforados en suelos ándicos del humedal de Calvache, Cauca, Colombia. Predicción de posible contaminación. Tesis Doctoral en Ciencias Químicas. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Plaza, O., Vianny, Lizhet., 2014. Alteraciones Antrópicas en el Sistema Lagunar San Rafael (Parque Nacional Natural Puracé) A Través de tres Subdivisiones de Hábitat. Popayán., Departamento de Biología. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación., Popayán p. 105

Quétier, F. y S. Lavorel, 2011. Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: Key issues and solutions. *Biological Conservation* 144, 2991-2999.

Quigley, T.M., R.W. Haynes y W.J. Hann, 2001. Estimating ecological integrity in the interior Columbia River basin. *Forest Ecology and Management* 153, 161-178.

Reza, M.I.H. y S.A. Abdullah, 2011. Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators* 11, 220-229.

Rivera, D. y C. Rodríguez, 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. 2011. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. , 68 pp.

Rodríguez, E., N., C.J.D. Pabón, S. Bernal, N.R. y C.J. Martínez, 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. , 80 pp.

Roldan, P., Gabriel. y R. Ramírez, John. , 2008a. Fundamentos de Limnología Neotropical Editorial Universidad de Antioquia 2 Edicion.

Roldan, P., Gabriel. y R. Ramírez, John. , 2008b. Fundamentos de Limnología Neotropical 440 pp.

Romero, R., John, Jairo., 2012. El Bosque Alto-Andino: una oportunidad para llevar al educando al aprendizaje significativo y a las estrategias de conservación. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogota D.C.; p. 207.

Ruaro, R. y É.A. Gubiani, 2013. A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity in aquatic ecosystems: Applications and main flaws. Ecological Indicators 29, 105-110.

Schmidt-Mumm, U. y O. Vargas Ríos, 2012. Comunidades vegetales de las transiciones terrestre-acuáticas del páramo de Chingaza, Colombia. Revista de Biología Tropical 60, 35-64.

Tandioy, B., William, James., 2008. Análisis comparativo de los patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, en la parte alta de la cuenca río palacè. Tesis de Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de Biología

Törnblom, J., E. Degerman y P. Angelstam, 2011. Forest proportion as indicator of ecological integrity in streams using Plecoptera as a proxy. Ecological Indicators 11, 1366-1374.

Toro, C., Daniel, Ricardo. , S. Jaramillo, Marco, Tulio., S. Ocampo, Diana, Marcela. , R.M. Correa y P. Salgado, Andrea., 2012. ESTUDIO LIMNOLOGICO DE LA LAGUNA NEGRA. ZONA AMORTIGUADORA DEL P.N.N. LOS NEVADOS. Boletín Científico Centro de Museos 16, 16 - 38.

Troyano, S., D, L., 1999. Estudio Fitosociológico de las Comunidades de Macrofitas Acuáticas en la Laguna de San Rafael. Parque Nacional Natural Puracé. Tesis de pregrado. Popayán: Fundación Universitaria de Popayán. Departamento de Ecología., p. 78.

- Van, V., Henk. , 1991. Priorities for conservation of the biodiversity in the Colombian Andes. *Novedades Colombianas* 4, 1 - 32
- Vásquez, A. y A. Buitrago, 2011. (Editores). El gran libro de los páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Proyecto Páramo Andino. Bogotá, D.C. Colombia. 208, pp.
- Vasquez, Z., Guillermo, Leon., 2001. Evaluación de la Calidad de las Aguas Naturales, Significado y Alcances en la Determinación y Análisis de Parámetros Físico-químicos y Biológicos Fundamentales Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Universidad del Cauca.
- Vejarano, A., Paloma, 2012. Ecosystem Functions and Services of a Tropical Highland Wetland in Colombia, Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, Tesis de Maestría, p. 67.
- Velez, R., L. A. y S. Gómez, A., 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *Arbor* 184, 31-44.
- Viana, A.P., F.L. Frédou y T. Frédou, 2012. Measuring the ecological integrity of an industrial district in the Amazon estuary, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 64, 489-499.
- Vidal, M., Cristian, 2012. Relación de procesos de fragmentación ecosistémica con la diversidad de comunidades de aves frugívoras e insectívoras en dos sectores altoandinos de la cordillera Central en el departamento del Cauca. Popayán., Departamento de Biología. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación., Popayán p. 82
- Vidal, P., Yanlika, Aurora., 2004. Determinación de la sensibilidad a la acidificación del agua de precipitación en una franja del ecosistema alto-andino del Parque Nacional Natural de Puracé. Tesis de Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca. Departamento de Biología.
- Wang, Y., E. Teng, T. Liu, Y. Lv, X. Jin, J.P. Giesy y H. Hollert, 2014. A national pilot scheme for monitoring and assessment of ecological integrity of surface waters in China. *Environmental Development*.
- Westra, L., P. Miller, J.R. Karr, W.E. Rees y R.E. Ulanowicz, 2000. Ecological integrity and the aims of the Global Integrity Project. *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health*, 19-41.
- Wetzel, R. y G. Likens, 1991. *Limnological Analyses*. Springer, New York., 391.
- Williamson, G.B., G.E. Schatz, A. Alvarado-Hernández, C.S. Redhead, A.C. Stam y R.W. Sterner, 1986. Effects of repeated fires on tropical paramo vegetation. *v. 27*, no. 1, p. 62-69.

WWF, 2007. Nueva herramienta para medir la Integridad Ecológica de los Parques Nacionales Naturales de Colombia. El fondo mundial para la naturaleza. .

Zambrano, L., Harnadon. , M. Pardo y L. Naranjo, German., 2007. Evaluación de Integridad Ecológica Propuesta Metodologica - Herramientas para el analisis de la Efectividad en el Largo Plazo en Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia - CONVENIO WWF- Colombia, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Instituto Humboldt., 25 pp.

Zamora, H., G. Vasquez y G. Naundorf, 1994. Determinación de la Productividad primaria en el embalse La Salvajina, como un parámetro para la evaluación y seguimiento de la calidad del agua. Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas 8, 12.

Zampella, R.A., J.F. Bunnell, K.J. Laidig y N.A. Procopio, 2006. Using multiple indicators to evaluate the ecological integrity of a coastal plain stream system. Ecological Indicators 6, 644-663.

ANEXOS

Anexo 1. Georreferenciación puntos de muestreo.

Punto	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura msnm
1 – Quebrada Chorrillos	2° 22' 20,7695"	76° 21' 6,4327"	3414
2 – Rio Bidón	2° 22' 9,7688"	76° 20' 54,7787"	3414
3	2° 22' 17,7503"	76° 21' 12,1999"	3412
4	2° 22' 14,3763"	76° 21' 10,0904"	3412
5	2° 22' 12,6102"	76° 21' 4,4556"	3411

Anexo 2 Taller cabildo indígena Puracé, mesas de trabajo temporalidades a, b, c
Fotografías Muñoz Muñoz Fernando Felipe



a. 1950 – 2009



b. 2009 – 2012



c. 2012 – 2020

Anexo 3. Cartografía Social elaborados por indígenas del Cabildo Puracé temporalidades, a, b, c, d.
Fotografías Muñoz Muñoz Fernando Felipe



a. 1950 – 2009



b. 2009 – 2012



c. 2012 - 2020

Anexo 4. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs meses de muestreo.

Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)	Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)
Temperatura Hídrica (°C)	0,000	Amonio (NH ₄) (mg/L)	0,779
Conductividad (µS/cm)	0,043	Nitritos (NO ₂) (mg/L)	0,030
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	0,049	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	0,001
Salinidad (ppt)	0,876	Fosfatos (PO ₄) (mg/L)	0,000
Saturación de Oxígeno (%OD)	0,179	Clorofila α (mg/m ³)	0,280
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,000	Carbono Fijado (mgC/m ³ h)	0,000
pH [H ⁺]	0,248		

Anexo 5. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs puntos de muestreo.

Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)	Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)
Temperatura Hídrica (°C)	0,943	Amonio (NH ₄) (mg/L)	0,517
Conductividad (μS/cm)	0,071	Nitritos (NO ₂) (mg/L)	0,694
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	0,133	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	0,803
Salinidad (ppt)	0,000	Fosfatos (PO ₄) (mg/L)	0,851
Saturación de Oxígeno (%OD)	0,005	Clorofila α (mg/m ³)	0,000
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,618	Carbono Fijado (mgC/m ³ h)	0,499
pH [H ⁺]	0,088		

Anexo 6. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs profundidad.

Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)	Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)
Temperatura Hídrica (°C)	0,912	Amonio (NH ₄) (mg/L)	0,722
Conductividad (μS/cm)	0,053	Nitritos (NO ₂) (mg/L)	0,953
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	0,111	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	0,871
Salinidad (ppt)	0,017	Fosfatos (PO ₄) (mg/L)	0,804
Saturación de Oxígeno (%OD)	0,286	Clorofila α (mg/m ³)	0,426
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,577	Carbono Fijado (mgC/m ³ h)	0,996
pH [H ⁺]	0,761		

Anexo 7. Contraste de Kruskal-Wallis variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs intensidad lumínica

Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)	Variable	Kruskal-Wallis (p<0,05)
Temperatura Hídrica (°C)	0,345	Amonio (NH ₄) (mg/L)	0,173
Conductividad (μS/cm)	0,364	Nitritos (NO ₂) (mg/L)	0,939
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	0,384	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	0,003
Salinidad (ppt)	0,926	Fosfatos (PO ₄) (mg/L)	0,326
Saturación de Oxígeno (%OD)	0,081	Clorofila α (mg/m ³)	0,692
Oxígeno disuelto (mg/L))	0,326	Carbono Fijado (mgC/m ³ h)	0,748
pH [H+]	0,705		

Anexo 8. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs meses

Meses	U Mann Whitney (p<0,05)							
	Temperatura Hídrica (°C)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Nitritos (NO ₂) (mg/L)	Nitratos (NO ₃) (mg/L)	Fosfatos (PO ₄) (mg/L)	Carbono Fijado (mg/m ³ h)
1 – 2	0,000	1,000	0,478	0,016	0,019	0,001	0,002	0,063
1 – 3	0,000	0,034	0,034	0,001	0,028	0,652	0,056	0,000
1 – 4	0,028	0,116	0,133	0,797	0,478	0,243	0,019	0,000
2 – 3	0,010	0,133	0,133	0,088	0,707	0,000	0,001	0,000
2 – 4	0,000	0,133	0,652	0,000	0,065	0,010	0,000	0,000
3 – 4	0,000	0,007	0,007	0,000	0,088	0,101	0,606	0,258

Anexo 9. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs puntos.

Puntos	U Mann Whitney (p<0,05)		
	Salinidad (ppt)	Saturación de Oxígeno (%OD)	Clorofila α (mg/m ³)
1 - 2	0,886	0,343	
1 - 3	0,170	0,170	
1 - 4	0,170	0,262	
1 - 5	0,170	0,170	
2 - 3	0,001	0,001	
2 - 4	0,001	0,001	
2 - 5	0,001	0,001	
3 - 4	1,000	0,114	0,068
3 - 5	1,000	0,843	0,219
4 - 5	1,000	0,060	0,347

Anexo 10. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs profundidad.

U Mann Whitney (p<0,05)			
Variables	Profundidad (1 - 2)	Profundidad (1 - 3)	Profundidad (2 - 3)
Salinidad (ppt)	0,170	0,170	1,000

Anexo 11. Contraste de U Mann Whitney variables fisicoquímicas, biomasa, productividad primaria vs intensidad lumínica.

U Mann Whitney (p<0,05)	
Variables	Profundidad (1 - 2)
Salinidad (ppt)	0,089
Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,002

Anexo 12. Análisis Correlación Spearman

		Temperatura (°C)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Salinidad (ppt)	Saturación de Oxígeno (%OD)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH [H+]	Amonio NH4 (mg/L)	Nitritos NO2 (mg/L)	Nitratos NO3 (mg/L)	Fosfatos PO4 (mg/L)	Clorofila α (mg/m3)	Carbono Fijado (mg/m3)
Temperatura (°C)	Coefficiente de correlación	1	0,26	0,297	0,066	-0,143	-,621**	0,036	0,023	-,405**	-0,011	0,281	0,154	0,103
	Sig. (bilateral)	.	0,088	0,05	0,672	0,354	0	0,815	0,882	0,006	0,942	0,065	0,317	0,551
Conductividad (uS/cm)	Coefficiente de correlación	0,26	1	,938**	,401**	-0,279	-0,26	0,087	0,005	-0,189	-,399**	-0,134	-0,297	-,390*
	Sig. (bilateral)	0,088	.	0	0,007	0,067	0,089	0,573	0,976	0,219	0,007	0,384	0,05	0,019
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Coefficiente de correlación	0,297	,938**	1	,396**	-0,253	-,309*	0,087	0,009	-,303*	-,307*	-0,095	-0,207	-0,294
	Sig. (bilateral)	0,05	0	.	0,008	0,098	0,041	0,575	0,953	0,046	0,043	0,539	0,178	0,082
Salinidad (ppt)	Coefficiente de correlación	0,066	,401**	,396**	1	-,597**	-,327*	0,056	-0,23	-0,013	-0,126	0,007	-,573**	.
	Sig. (bilateral)	0,672	0,007	0,008	.	0	0,03	0,717	0,132	0,931	0,417	0,965	0	.
Saturación de Oxígeno (%OD)	Coefficiente de correlación	-0,143	-0,279	-0,253	-,597**	1	0,154	0,063	0,189	0,099	,354*	0,096	,334*	0,081
	Sig. (bilateral)	0,354	0,067	0,098	0	.	0,319	0,687	0,218	0,523	0,018	0,534	0,027	0,64
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Coefficiente de correlación	-,621**	-0,26	-,309*	-,327*	0,154	1	0,172	-0,063	,355*	0,167	-0,118	-0,068	-0,1
	Sig. (bilateral)	0	0,089	0,041	0,03	0,319	.	0,266	0,685	0,018	0,28	0,445	0,661	0,56
pH [H+]	Coefficiente de correlación	-0,036	0,087	0,087	0,056	-0,063	0,172	1	-0,106	0,041	-0,214	-0,159	-0,183	-0,311
	Sig. (bilateral)	0,815	0,573	0,575	0,717	0,687	0,266	.	0,492	0,794	0,162	0,303	0,236	0,064
Amonio NH4 (mg/L)	Coefficiente de correlación	0,023	0,005	0,009	-0,23	0,189	-0,063	0,106	1	-0,038	0,047	0,068	0,033	-0,228
	Sig. (bilateral)	0,882	0,976	0,953	0,132	0,218	0,685	0,492	.	0,806	0,761	0,663	0,83	0,182

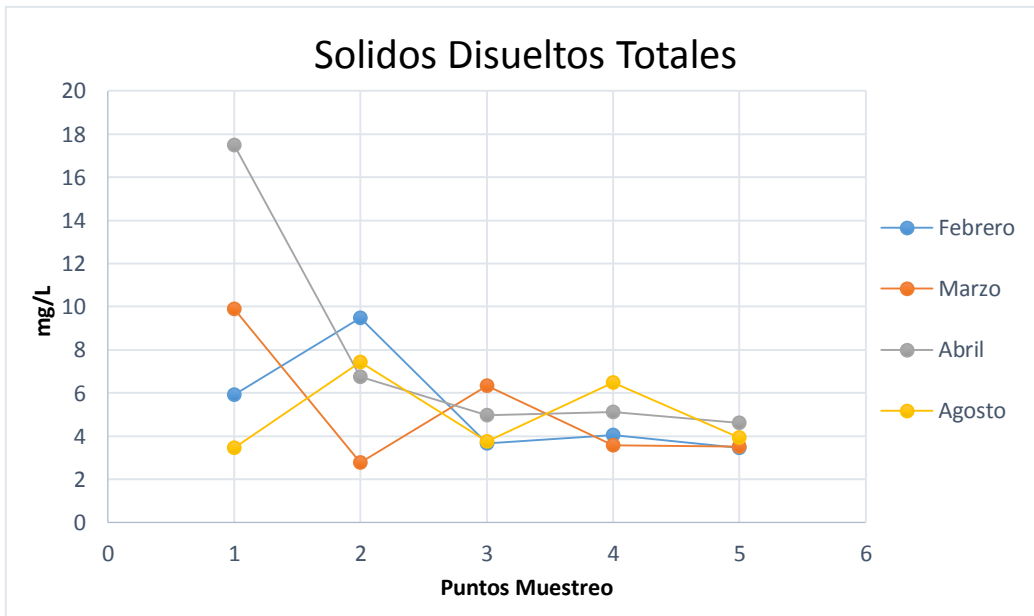
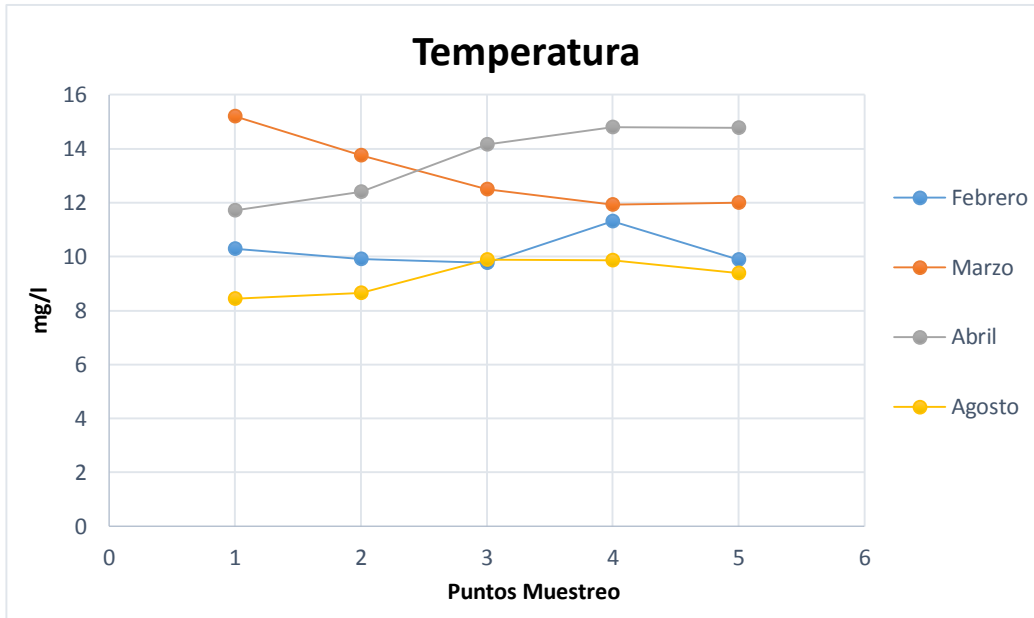
Nitritos NO2 (mg/L)	Coeficiente de correlación	-0,405**	-0,189	-,303*	-0,013	0,099	,355*	0,041	-0,038	1	0,121	-0,254	-0,207	0,059
	Sig. (bilateral)	0,006	0,219	0,046	0,931	0,523	0,018	0,794	0,806	.	0,433	0,097	0,178	0,733
Nitratos NO3 (mg/L)	Coeficiente de correlación	-0,011	-,399**	-,307*	-0,126	,354*	0,167	0,214	0,047	0,121	1	,381*	0,128	,348*
	Sig. (bilateral)	0,942	0,007	0,043	0,417	0,018	0,28	0,162	0,761	0,433	.	0,011	0,407	0,037
Fosfatos PO4 (mg/L)	Coeficiente de correlación	0,281	-0,134	-0,095	0,007	0,096	-0,118	0,159	0,068	-0,254	,381*	1	0,118	,548**
	Sig. (bilateral)	0,065	0,384	0,539	0,965	0,534	0,445	0,303	0,663	0,097	0,011	.	0,444	0,001
Clorofila α (mg/m3)	Coeficiente de correlación	0,154	-0,297	-0,207	-,573**	,334*	-0,068	0,183	0,033	-0,207	0,128	0,118	1	0,296
	Sig. (bilateral)	0,317	0,05	0,178	0	0,027	0,661	0,236	0,83	0,178	0,407	0,444	.	0,08
Carbono Fijado (mg/m3)	Coeficiente de correlación	0,103	-,390*	-0,294	.	0,081	-0,1	0,311	-0,228	0,059	,348*	,548**	0,296	1
	Sig. (bilateral)	0,551	0,019	0,082	.	0,64	0,56	0,064	0,182	0,733	0,037	0,001	0,08	.

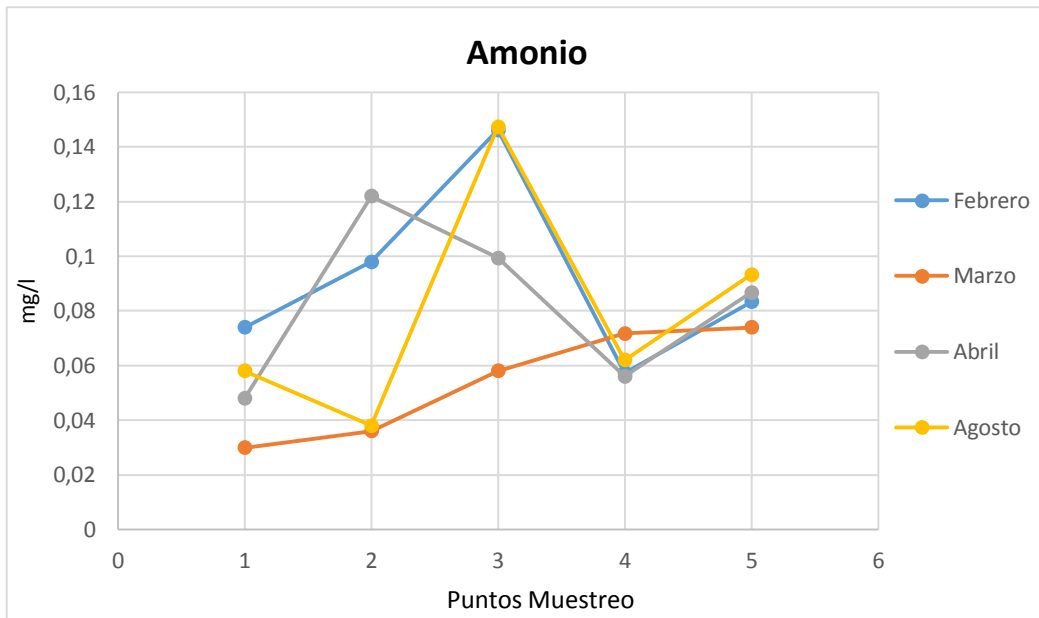
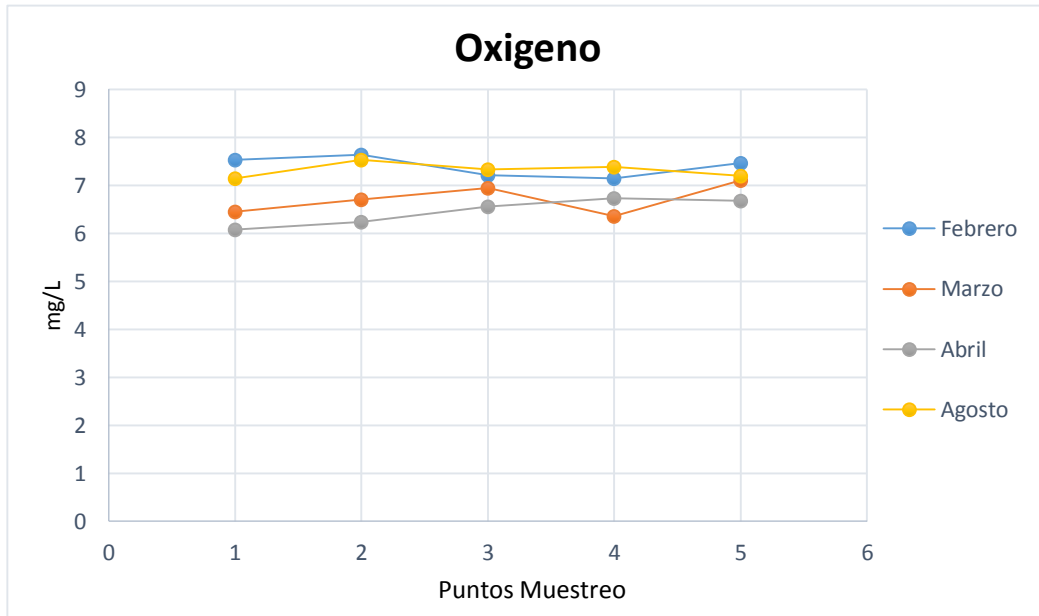
Anexo 13. Valores promedio fisicoquímica del agua durante los meses de muestreo.

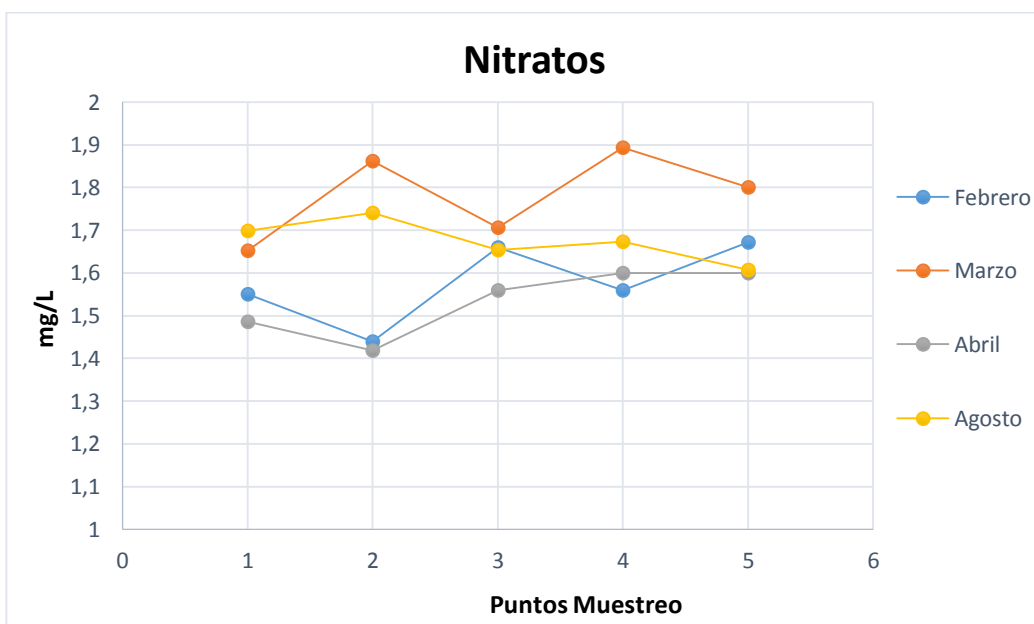
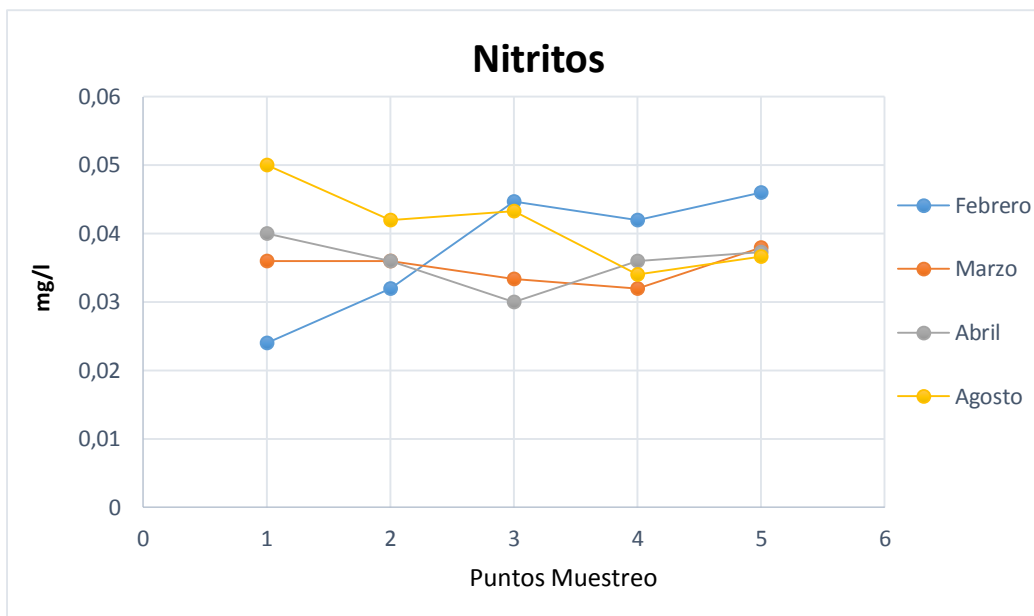
Mes	Punto	Profundidad	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos		Salinidad (ppt)	Saturación de Oxígeno (%OD)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH [H ⁺]	Amonio NH ₄ (mg/L)	Nitritos NO ₂ (mg/L)	Nitratos NO ₃ (mg/L)	Fosfatos PO ₄ (mg/L)
					Disueltos totales (mg/L)									
1	1	A	10,3	12,804	5,928	0	99,2	7,53	6,7	0,074	0,024	1,55	0,776	
	2	A	9,9	19,744	9,472	0,01	99,9	0,64	5,5	0,098	0,032	1,44	0,646	
	3	A	9,88	8,364	3,706	0	99,84	6,85	5,5	0,333	0,048	1,64	0,344	
	3	B	9,84	8,036	3,576	0	99,52	7,42	6,2	0,04	0,05	1,7	0,1	
	3	C	9,56	6,602	3,716	0	99,84	7,34	6,4	0,062	0,036	1,64	0,166	
	4	A	10,18	12,36	5,692	0	99,92	6,96	5,7	0,042	0,042	1,4	0,1	
	4	B	12,02	6,862	3,164	0	99,88	7,30	5,7	0,04	0,038	1,68	0,366	
	4	C	11,74	6,734	3,268	0	99,74	7,16	5,7	0,09	0,046	1,6	0,408	
	5	A	9,916	6,768	3,524	0	99,96	7,72	6,9	0,158	0,046	1,7	0,346	
2	5	B	9,898	6,838	3,468	0	100,04	7,46	7,7	0,046	0,046	1,63	0,388	
	5	C	9,856	6,626	3,386	0	99,86	7,22	6,6	0,046	0,046	1,684	0,316	
	1	A	15,2	21,376	9,904	0,01	96,388	6,45	6,4	0,03	0,036	1,652	0,482	
	2	A	13,76	6,37	2,778	0,002	96,74	6,70	5,9	0,036	0,036	1,862	0,48	
	3	A	12,96	12,46	6,27	0	100	6,95	6,1	0,052	0,03	1,8	3,062	
	3	B	12,34	12,38	6,58	0	99,92	6,90	6,4	0,052	0,03	1,5	1,342	
	3	C	12,18	11,84	6,16	0	100	6,99	4,4	0,07	0,04	1,82	1,184	
	4	A	12,3	7,038	3,84	0	99,94	6,00	4,3	0,063	0,036	2,1	2,4075	
	4	B	12,12	6,432	3,722	0	99,92	7,13	6,2	0,062	0,03	1,84	1,942	
4	C	11,4	6,22	3,12	0	99,96	5,94	6,0	0,09	0,03	1,74	1,896		
5	A	12,64	7,3	3,24	0	99,92	7,17	6,3	0,078	0,04	1,8	1,336		
5	B	11,84	7,12	3,584	0	99,9	7,16	6,1	0,092	0,034	1,88	1,112		
5	C	11,52	7,48	3,742	0	99,98	6,98	6,1	0,052	0,04	1,72	0,094		

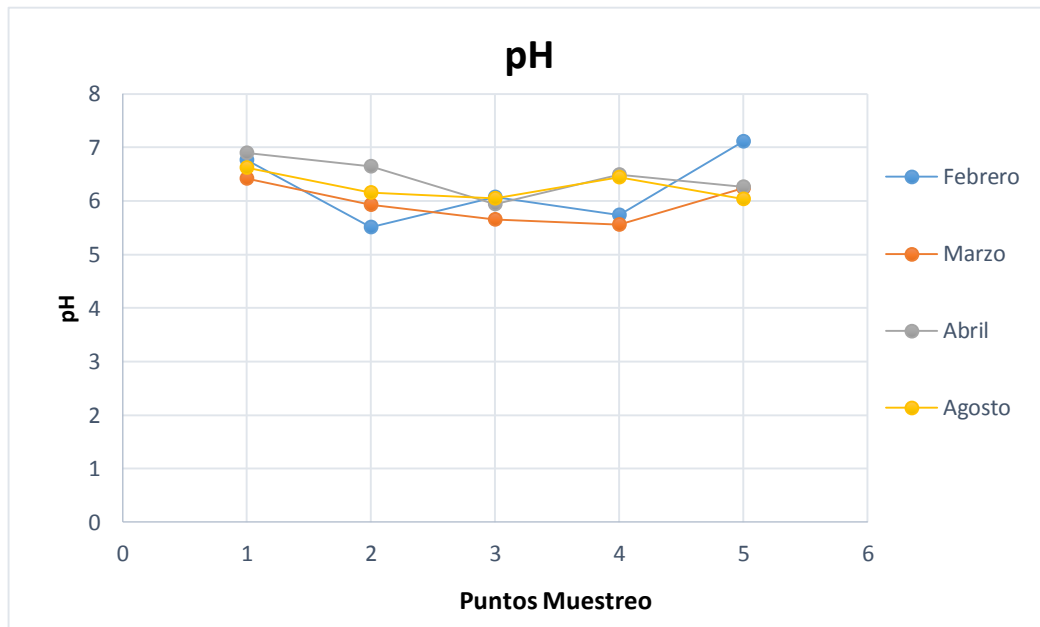
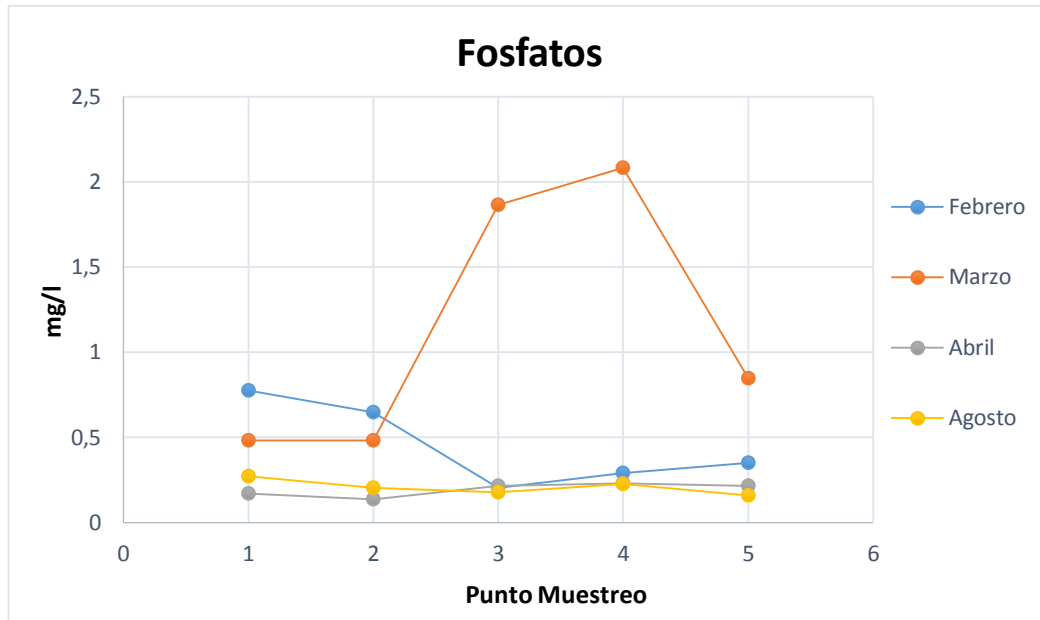
	1	A	11,714	37,5	17,484	0,012	84,25	6,07	6,8	0,048	0,04	1,486	0,17
	2	A	12,404	14,356	6,742	0,002	86,57	6,24	6,6	0,122	0,036	1,418	0,136
	3	A	14,38	10,7	4,944	0	99,92	6,73	4,9	0,11	0,03	1,7	0,226
	3	B	14	10,38	4,986	0	99,9	6,38	6,5	0,05	0,03	1,34	0,2
3	3	C	14,12	10,14	5	0	100	6,57	6,3	0,138	0,03	1,64	0,218
	4	A	15,12	10,776	5,2	0	97,4	6,82	6,2	0,01	0,038	1,62	0,248
	4	B	14,92	10,77	5,18	0	99,66	6,77	6,6	0,1	0,04	1,68	0,164
	4	C	14,38	10,72	4,928	0	99,68	6,60	6,5	0,058	0,03	1,5	0,28
	5	A	15,16	8,672	4,56	0	99,78	6,89	6,2	0,098	0,04	1,7	0,22
	5	B	14,82	10,04	4,88	0	99,9	6,71	6,1	0,05	0,032	1,4	0,17
	5	C	14,38	10,326	4,36	0	100	6,44	6,3	0,112	0,04	1,7	0,252
	1	A	8,45	7,52	3,45	0	100,15	7,14	6,6	0,058	0,05	1,698	0,27
	2	A	8,66	15,112	7,436	0,01	84,52	7,53	6,1	0,038	0,042	1,74	0,204
	3	B	9,88	7,954	3,706	0	100,06	7,41	6,2	0,05	0,04	1,72	0,098
	3	A	9,9	8,45	3,838	0	99,9	7,42	5,5	0,326	0,05	1,64	0,248
	3	C	9,9	8,396	3,732	0	99,94	7,16	6,3	0,066	0,04	1,6	0,188
4	4	A	9,86	22,478	11,936	0	99,98	7,43	6,5	0,078	0,04	1,74	0,272
	4	B	9,86	8,2178	3,762	0	98,3	7,32	6,5	0,058	0,032	1,6	0,078
	4	C	9,9	8,296	3,766	0	99,88	7,41	6,2	0,05	0,03	1,68	0,324
	5	A	9,708	8,462	4,2	0	99,92	7,41	5,6	0,16	0,03	1,56	0,164
	5	B	9,4	8,064	3,988	0	99,94	7,10	6,4	0,066	0,04	1,76	0,156
	5	C	9,08	8,15	3,56	0	99,94	7,09	6,0	0,054	0,04	1,5	0,15

Anexo 14. Valores Promedios Físicoquímica en los puntos, durante los 4 meses de muestreo.

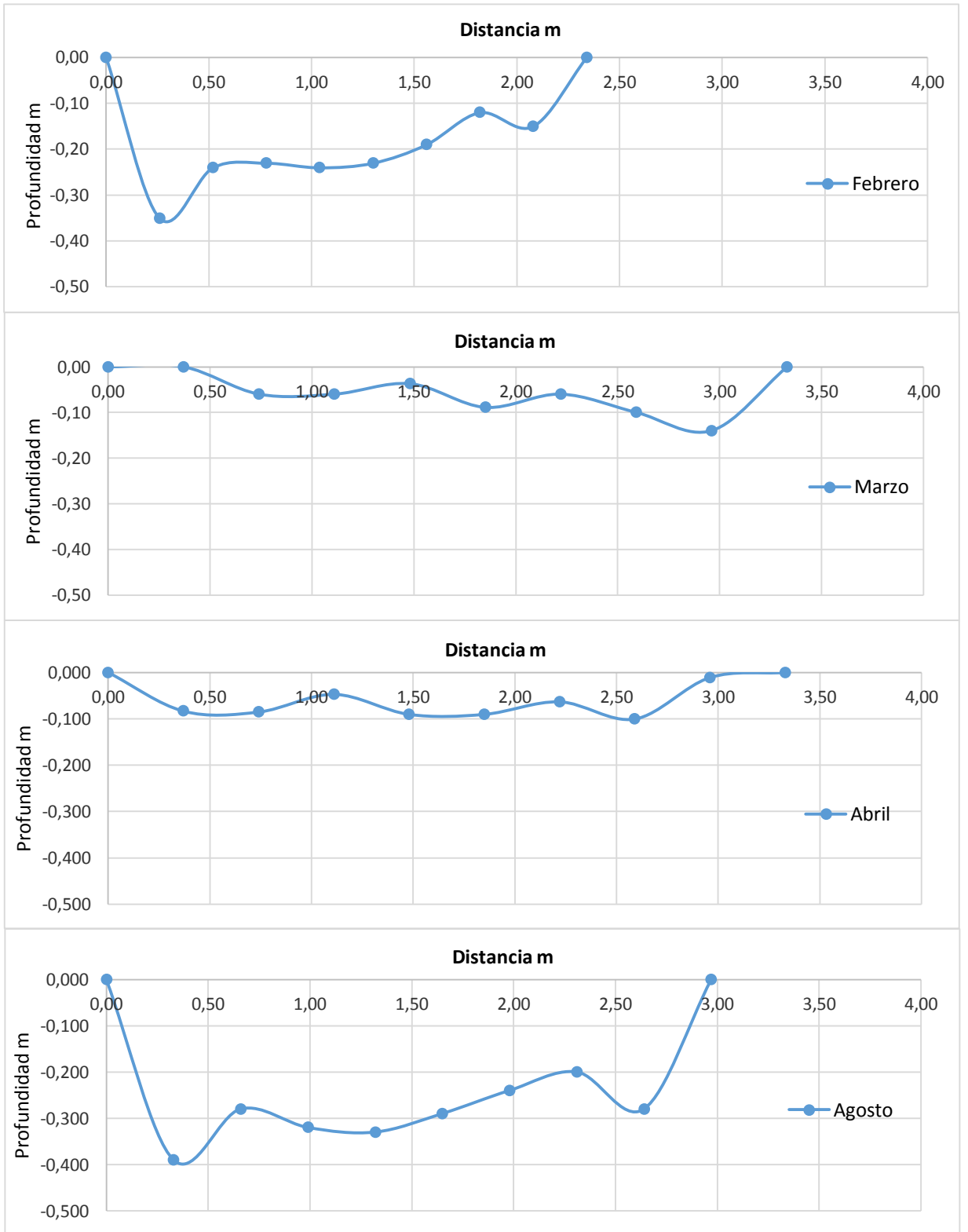




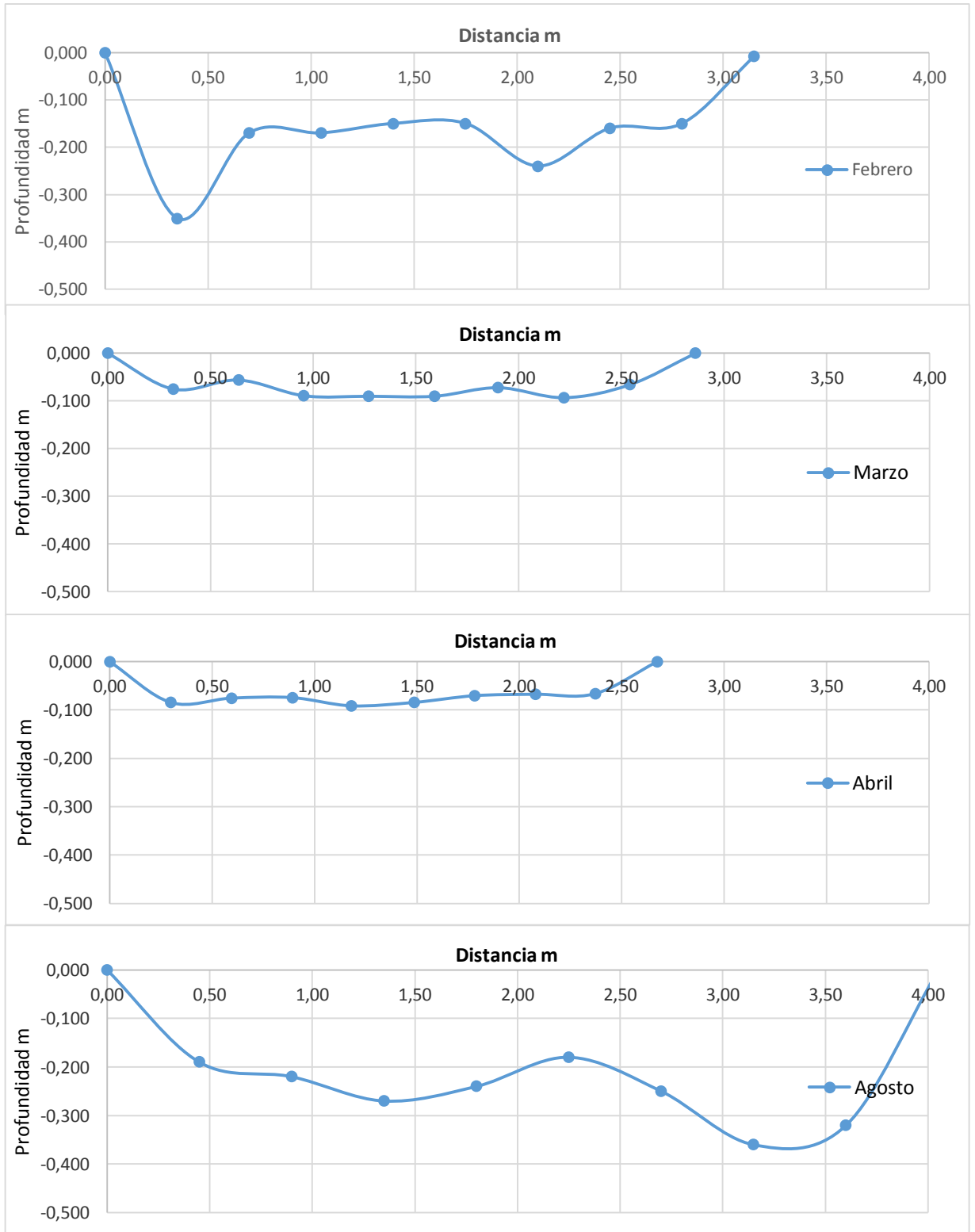




Anexo 15. Cambios y comportamiento del área, caudal y morfología de la Quebrada Chorrillos, durante los periodos de muestreo.



Anexo 16 Cambios y comportamiento del área, caudal y morfología del Río Bedón, durante los periodos de muestreo.



Anexo 17. Fotografías de algunos factores antrópicos en la laguna de San Rafael, a, b, c.

Fotografías Imbachi Diego, Plaza Vianny



a. Ganadería



b. Residuos Sólidos



c. Turismo Desarticulado

